

# **Idiopathische Skoliose – Progredienz und Langzeitverlauf unter Korsettversorgung**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

von **Stefanie Säuberlich**  
geboren am 26. November 1981 in Ilmenau

#### Gutachter

1. Prof. Dr. med. Rudolf- Albert Venbrocks, Waldkrankenhaus „Rudolf Elle“  
Klosterlausnitzer Straße 81, 07607 Eisenberg
2. Prof. Dr. med. Thomas Wirth, Olgahospital, Klinikum Stuttgart  
Bismarckstraße 8, 70176 Stuttgart
3. PD Dr. med. Holger Mellerowicz, HELIOS Klinikum „Emil von Behring“  
Walterhöferstraße 11, 14165 Berlin

Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.10.2011

## **Abkürzungsverzeichnis**

- AF: Anteflexionsstörung
- FR: Flachrücken
- MI: muskuläre Insuffizienz
- p.-a.: posterior- anterior
- BWS: Brustwirbelsäule
- LWS: Lendenwirbelsäule
- BWK: Brustwirbelkörper
- LWK: Lendenwirbelkörper
- EVA: Erstversorgungsalter
- LJ: Lebensjahr
- CW: Cobb- Winkel
- RS: Risserstadium
- KV: Korrekturverlauf
- WK: Wirbelkörper
- PS: Pelottensitz
- SW: Scheitelwirbel
- Rot -: Rotationsabnahme
- Rot +: Rotationszunahme
- B +: freies Bending
- B -: fixiertes Bending

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1 Geschichte der Skoliotherapie .....	6
1.2 Definition der Skoliose und Ätiologie .....	8
1.3 Epidemiologie .....	10
1.4 Klassifikation und Einteilung der Skoliosen .....	11
1.5 Klinische Diagnostik und Folgen der Skoliose .....	13
1.6 Spontanverlauf idiopathischer Skoliosen .....	16
1.7 Therapiemöglichkeiten der Skoliose.....	18
1.7.1 Krankengymnastik .....	19
1.7.2 Korsettbehandlung .....	21
1.7.3 Operative Therapie .....	22
1.8 Strategie der Korsettbehandlung und Korsetttypen.....	24
1.8.1 Korsetttypen.....	26
1.8.2 Eigenes Therapieregime.....	29
1.9 Prognose.....	29
<b>2. Ziele der Arbeit</b>	<b>31</b>
<b>3. Patienten und Methodik</b>	<b>34</b>
3.1 Patientenauswahl.....	34
3.2 klinische Datengewinnung .....	35
3.3 röntgenologische Datengewinnung .....	36
3.4 Auswertungsverfahren.....	42
3.5 Statistik.....	43
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>44</b>
4.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	44
4.2 Alter bei Korsetterstversorgung.....	45
4.3 Alter bei Korsettabnahme.....	47



4.4	Höhe des Ausgangs- Cobbwinkels bei Erstversorgung .....	49
4.5	Höhe des Scheitelwirbels bei Erstdiagnose .....	53
4.6	Rotationsänderung des Scheitelwirbels der Primärkrümmung .....	55
4.7	Ausgangs- Risserstadium .....	57
4.8	Prognostischer Unterschied thorakale vs. lumbale Skoliosen .....	58
4.9	Erstkorrektur im Korsett .....	60
4.10	Verschiebung des SW im Korsett im Vergleich zum Ausgangs- SW .....	63
4.11	Einfluss der Verschiebung des SW nach Korsetttherapie in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel auf den Endbefund.....	65
4.12	Einfluss der Winkelkorrektur im Korsett während der Korsetttragedauer auf den Endbefund.....	65
4.13	Einfluss des Pelottensitzes auf den Endbefund .....	66
4.14	Einfluss des thorakalen Pelottensitzes auf den Endbefund bezüglich der Kraftwirkung über den Rippenverlauf auf die Wirbel.....	67
4.15	Korrelation der Cobb- Winkeländerung der Primärkrümmung mit der Rotationsänderung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie .....	68
4.16	Korrelation der Ausgangsrotation des thorakalen Scheitelwirbels mit dem Ausmaß des Rippenbuckels.....	68
4.17	Korrelation des Ausgangs- Cobbwinkels mit der Seitabweichung.....	69
4.18	Einfluss des Bendings und der aktiven Aufrichtungsfähigkeit auf den Endbefund.....	69
4.19	Endbefund nach Abschluss der Korsetttherapie .....	70
4.20	Einfluss von Risikofaktoren .....	70
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>71</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung/ Schlussfolgerungen</b>	<b>89</b>
<b>7.</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>	<b>91</b>
7.1	Quellen .....	91
7.2	Literatur .....	91
<b>8.</b>	<b>Anhang</b>	<b>100</b>

## **1. Einleitung**

Die Verkrümmung der Wirbelsäule zählt zu den am längsten bekannten orthopädischen Krankheitsbildern. Die fortschreitende Deformierung des Körpers beeinflusste die Menschen zu jeder Zeit stark und führte daraufhin zu intensiven Bemühungen um die Erkundung und Behandlung der Skoliose. Dennoch wurden bis heute viele Probleme, die diese Erkrankung bietet, noch nicht befriedigend gelöst. (Niethard 1997)

### **1.1 Geschichte der Skoliosetherapie**

Die historischen Wurzeln der Erkennung und Behandlung von Wirbelsäulenerkrankungen reichen zurück bis in die Antike. Bereits in den Schriften des Hippokrates (460 – 370 v. Chr.) wurde eine Seitverbiegung der Wirbelsäule und deren Therapie durch Extension und Druck beschrieben (Byrd 1988). Das Zitat: „Erlanget Wissen über die Wirbelsäule, denn von dieser gehen viele Krankheiten aus“ zeugt davon, dass Hippokrates bereits vor über 2000 Jahren die Bedeutung der Wirbelsäule erkannte.

Den eigentlichen Begriff der Skoliose prägte aber erst Galen (129 – 199 n. Chr.). Das von ihm verwendete griechische Wort *skolios* bedeutet soviel wie krumm oder verdreht (Galen, *Übersetzung von Leoniceno, 1537*). Vidus Vidius beschrieb 1544 in seinem Werk „Chirurgia è Graeco in Latinum conuersa“ (Valentin 1961) eine Behandlungsmethode der Skoliose und anderer Wirbelsäulendeformitäten mit Apparaten, welche eine Kombination aus Traktion und direktem Druck ausüben (Abb.1).

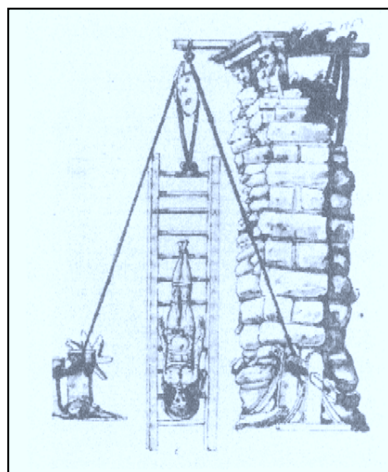


Abb. 1 Hippokratische Rachiotherapie nach Vidus Vidius (1544), aus Valentin (1961)

Der erste Versuch der Korrektur einer Wirbelsäulendeformität mit einem Korsett wird in das 16. Jahrhundert datiert. Der französische Feldarzt Ambroise Paré schuf die ersten Stützkorsetts aus Metall. Diese bestanden aus zwei dünnen, gelochten Eisenplatten, welche Tag und Nacht getragen werden mussten (Abb. 2).

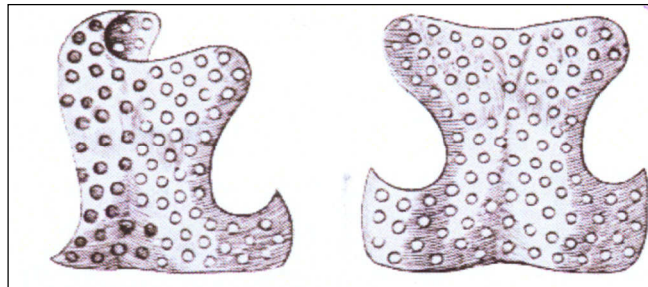


Abb.2 Stützkorsett aus Metall aus Harms (2007)

Um 1762 entwickelte A. Roux die ersten Orthesen, die 1835 durch J. Hossard erstmals mit mechanischen Verstellmöglichkeiten versehen wurden. (Abb. 3 + 4)

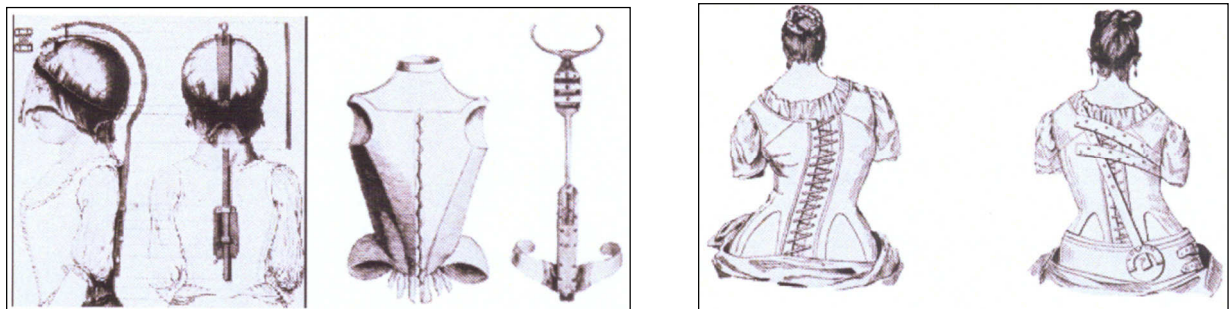


Abb. 3+4 Korrekturorthesen nach Roux und Hossard aus Harms (2007)

J.-A. Venel gelang 1788 mit seinem Korsett, welches über eine Extensionsvorrichtung für den Kopf und die Axillen sowie translatorisch wirkenden Pelotten mit integrierten Derotationsmechanismus zur Korrektur der Torsion verfügte, ein konzeptioneller Durchbruch in der Korsettkonstruktion (Venel 1788). Mit seinem Korsett („appareil du jour“) und dem ersten Streckbrett („appareil du nuit“) erzielte er für die damalige Zeit erstaunliche Resultate.

Vor ca. 200 Jahren wurde die Korsetttherapie schließlich durch die Einführung der „orthopädischen Gymnastik“ als aktive Komponente erweitert. Die 1895 entdeckten Röntgenstrahlen ermöglichten erstmals angemessene Aussagen über den strukturellen Wirbelsäulenzustand und boten die Möglichkeit einer sinnvollen operativen Therapie, sodass Hibbs mit seiner 1911 beschriebenen Technik der

dorsalen Spondylodese die Ära der operativen Skoliosebehandlung einleitete (*Hefti 1998, Hibbs 1921*).

Mit dem von Blount et al. vorgestellten Milwaukeekorsett als aktives Distraktionskorsett mit Halsaufbau begann 1947 in den USA die moderne konservative Orthesentherapie (*Ascani et al. 1986*). Es folgten neuere Korsettarten, wie z.B. das Stagnara- Korsett mit komprimierender Wirkung. Mitte der 70er Jahre brachte das Boston- Korsett in Modularbauweise als Derotationskorsett für lumbale Krümmungen einen neuen Schwung in die Skliosetherapie. J. Chêneau entwickelte gegen Ende der 70er Jahre ein neues, aktives Inspirations- Derotationskorsett. Neuere Korsettentwicklungen wie das Charleston- Bending- Brace oder das SpineCor als dynamisches Korsett, aber auch Konzepte wie Night time- bracing und Part time bracing bilden die Grundlage für viele Diskussionen (*Allington und Bowen 1996, Green 1986, Price et al. 1990, Coillard et al. 2003*).

## 1.2 Definition der Skoliose und Ätiologie

Bei einer Skoliose handelt es sich um eine dauerhafte, aktiv nicht vollständig wieder aufrichtbare Seitverbiegung der Wirbelsäule mit begleitender Rotation der einzelnen Wirbel und Torsion der gesamten Wirbelsäule infolge der Asymmetrie von Wirbelsäulenkomponenten. Diese Krümmung geht einher mit zusätzlichen Veränderungen im Sagittalprofil des Rumpfes, wodurch die Skoliose als eine dreidimensionale Fehlbildung charakterisiert ist.

Aufgrund der gelenkigen Verbindung der einzelnen Wirbel findet mit der seitlichen Verbiegung der Wirbelsäule auch eine Rotation statt, das heißt eine Drehung des Wirbelkörpers um seine Längsachse. Dabei befindet sich das Maximum der Wirbelkörperrotation am Scheitelpunkt der Krümmung (*Mau 1982*). Betrachtet man die Wirbelsäule als Ganzes ist eine Rotation um eine Längsachse außerhalb des Wirbelkörpers zu erkennen. Dieses Geschehen wird als Torsion bezeichnet. Dabei kommt es zur Ausprägung von Primär- und Sekundärkrümmungen. Primärkrümmungen entwickeln sich als erstes, Sekundärkrümmungen entstehen als Ausgleich der Balance ober- oder unterhalb der Primärkrümmung (*Stücker 2010*). Die Skoliose ist eine Wachstumsdeformität. Somit besteht die stärkste Progression, also die größte Gefahr eines asymmetrischen Wachstums der Wirbelkörper und

Knorpelscheiben, zu Zeiten starker Wachstumsschübe, vor allem während der Pubertät (peak height velocity) (*Tanner et al. 1966*).

Nach jetzigem Kenntnisstand ist die Ätiologie der idiopathischen Skoliose, welche mit 85% den größten Anteil an der Gesamtheit der strukturellen Skoliosen ausmacht, noch ungeklärt. In der Literatur finden sich viele verschiedene Theorien zur Ätiologie und Pathogenese.

Eine Erklärung wird in biomechanischen Faktoren gesucht. Basierend auf dem Hueter-Volkmann-Gesetz verursachen asymmetrische Druckverhältnisse Wachstumsstörungen an den Wirbelkörpern, wonach die Wirbelkörper in der Konkavität auf Druck mit Aktivitätshemmung reagieren und die Wirbelkörper in der Konvexität durch Entlastung schneller wachsen, sodass eine Keilform der Wirbel und Wirbelzwischenräume entsteht und die Wirbelsäule allmählich aus dem Lot weicht (*Perdriolle et al. 1993*). Weiterhin wird die Ursache in einigen Arbeiten der letzten 2 Jahrzehnte in einem Missverhältnis zwischen vorderem und hinterem Wirbelsäulenwachstum vermutet. Hierbei wird ein relatives Minderwachstum dorsaler gegenüber ventraler Wirbelsäulenabschnitte mit daraus folgender relativer Verkürzung des Spinalkanals im Vergleich zur Länge der vorderen Säule angenommen (*Deacon et al. 1987; Herzenberg et al. 1990, Veldhuizen et al. 2000, Guo et al. 2003*). Bedingt durch diese primäre Fehlbildung kommt es zur Ausbildung einer sekundären Rotationslordose (*Archer und Dickson 1985*). Diese Wirbelkörperrotation ist als kompensatorische Reaktion der ventralen Wirbelsäulenabschnitte auf den Platzmangel anzusehen, welche nach lateral ausweichen und rotieren (*Somerville 1952*). Durch die intravertebrale Deformierung der einzelnen Wirbel kommt es zur Verlagerung des Rückenmarks aus dem Zentrum des Spinalkanals in die Konkavität (*Liljenqvist 2002*). Diesem entkoppelten Wachstum (uncoupling of neuro- osseous growth) zwischen Spinalkanal und Wirbelkörpern wird als möglicher ätiologischer Faktor ein vermindertes Wachstum des Rückenmarks zugeordnet (*Porter 2000*). Dem gleichen Prinzip folgen die Erklärungen bezüglich der asymmetrischen Ausprägung der Rückenmuskulatur mit Schwächung und Überdehnung auf der konvexen Seite bzw. Stärkung und Kontraktion auf der konkaven Seite. Es wird jedoch derzeit angenommen, dass diese Veränderungen nicht die eigentliche Ursache sind, sondern nur sekundäre Effekte auf die Progredienz der Krümmung haben (*Machida 1999*). Für viele weitere Faktoren, wie genetische, metabolische, hormonelle und zentralnervöse

Störungen ist der Zusammenhang ebenfalls nicht ursächlich bewiesen. Dies erklärt das traditionelle Paradigma, dass es sich um eine multifaktorielle Erkrankung mit einer genetischen Prädisposition handelt (*Byrd 1988, Lowe et al. 2000, Veldhuizen et al. 2000*).

Eine erst kürzlich erschienene Studie stellt ein neues einheitliches Konzept zur Erklärung der Ätiologie dar. Sie beruht auf einer Signalübertragungsstörung des Melatonins durch Veränderung von Gi-Proteinen. Durch einen Bluttest lässt sich zukünftig diese Funktionsstörung ermitteln. Eine Früherkennung der Skoliose vor dem Auftreten von Symptomen und die weitere Erforschung medikamentöser und klinischer Behandlungen zur Prävention oder Therapieoptimierung wird somit ermöglicht (*Moreau et al. 2009*).

### 1.3 Epidemiologie

In der Literatur unterliegen die Angaben hinsichtlich der Erkrankungshäufigkeit einer großen Variationsbreite. Bei etwa konstant gebliebener Inzidenz in den letzten Jahrzehnten schwanken die angegebenen Werte über die Inzidenz der Skoliose jedoch zwischen 0,13% und 13,6% (*Montgomery und Willner 1997, Soucacos et al. 1998, Kim et al. 2009*). Als Ursache dafür ist vor allem die unterschiedliche Auffassung, ab welchem Cobb- Winkel eine Seitverbiegung der Wirbelsäule als Skoliose beurteilt wird, anzusehen. Die Angaben schwanken hier bei Krümmungswinkeln zwischen 5° und 10° (*Dickson 1980, Heine und Heine 1981, Kim et al. 2009*).

Bei 82% aller Skoliosefälle handelt es sich um eine idiopathische Skoliose mit einer seitlichen Verbiegung der Wirbelsäule von mehr als 10 Grad, deren Ursache unbekannt ist (*Cobb 1948, Jonathan et al. 2009*).

Idiopathische Skoliosen mit einem Krümmungswinkel über 10° finden sich bei 2- 3% der Bevölkerung (*Weinstein 1989, Soucacos et al. 1998, Jonathan et al. 2009*). Das Geschlechtsverhältnis bei diesem Schweregrad beträgt 1,4- 2 zu 1 zuungunsten der Mädchen. Skoliosen mit einem Cobbwinkel zwischen 30 und 40° können bei 1- 3 von 1000 Personen ermittelt werden. Bereits bei Skoliosen dieser Größenordnung ist das weibliche Geschlecht 10 mal häufiger betroffen als das männliche. (Tab.1)

Die größte bisherige Kohortenstudie ermittelte eine Inzidenz von 0,04% für Skoliosen über 30° (*Soucacos et al. 1998, Kim et al. 2009*).

Cobb- Winkel (Grad)	Häufigkeit (Prozent)	Geschlechtsverteilung weiblich : männlich
> 10°	2 - 3	1,4 - 2 : 1
> 20°	0,3 - 0,5	5,4 : 1
> 30°	0,1 - 0,3	10 : 1
> 40°	< 0,1	

Tabelle 1. Geschlechtsverteilung und absolute Häufigkeit idiopatischer Skoliosen in Abhängigkeit vom Skoliosewinkel (n. Weinstein, 1989)

Unbestritten ist die familiäre Häufung der Skoliose. Bei Verwandten I. Grades wurden Häufigkeiten von 7-11% beobachtet (*Hefti 1998*). Etwa 10% aller Skoliosen werden behandlungsbedürftig (*Stücker 2010*).

#### 1.4 Klassifikation und Einteilung der Skoliose

Nach heutigen Gesichtspunkten lässt sich die Skoliose durch präzise Beurteilung unterschiedlichster Parameter nach verschiedenen Kriterien einordnen. Die Unterteilung von Skoliosen kann nach der Ursache, dem Alter, der Form und der Progredienz erfolgen. Nach ihrer Ursache unterscheidet man strukturelle und funktionelle Skoliosen.

Die amerikanische „Scoliosis research society“ teilt die strukturellen Skoliosen, dass heißt solche, die sich durch eine Teilfixation der Krümmung auszeichnen, in 13 ätiologisch unterschiedliche Gruppen ein (*Lonstein 1994*). Davon sind die funktionellen Skoliosen, die auch als „skoliotische Fehlhaltungen“ oder im englischen Sprachgebrauch als „postural scoliosis“ bezeichnet werden, abzugrenzen. Sie sind nicht fixiert und lassen sich daher durch physiotherapeutische Übungen wieder aufrichten bzw. aktiv korrigieren. Diese Form weist röntgenologisch keine Veränderungen der Wirbel und Bandscheiben auf und ist meist durch Haltungsschwäche mit Fehlsteuerung der Muskulatur, Beinlängendifferenzen oder Schonhaltungen bei Ischialgien bedingt (*Götze 1990*).

Weiterhin können die Skoliosen nach dem Zeitpunkt ihres Auftretens eingeteilt werden. Die Manifestation kann in jedem Wachstumsalter stattfinden. Da der Zeitpunkt des Erkrankungsbeginns entscheidend für die Entwicklung und Prognose

ist, unterscheidet man idiopathische Skoliosen in infantil (0- 3. Lebensjahr), juvenil (4.- 10. Lebensjahr) und adoleszent (ab dem 11. Lebensjahr), (*James 1954, Goldstein und Waught 1973, Kim et al. 2009*). Dieser Zeitpunkt ist jedoch schwierig zu bestimmen, da unklar ist, wie lange eine Verkrümmung schon vor Diagnosestellung bestand. Daher teilt man Skoliosen vereinfacht auch in früh, also vor dem 10. Lebensjahr (=Early-onset), auftretende und spät, also nach dem 10. Lebensjahr (=Late-onset), auftretende Skoliosen ein (*Kim et al. 2009*). Die Säuglingsskoliose stellt eine Sonderform dar, wobei ein Übergang in eine idiopathische infantile Skoliose möglich ist (*Cobb 1948*).

Sekundäre, nicht- idiopathische Skoliosen können in angeborene und erworbene unterteilt werden. Eine erworbene, sekundäre Skoliose entsteht oft aus einer Beckenschiefhaltung (*Wild 1975*). Zu der grundsätzlich korrigierbaren Rotation der Wirbelkörper kann in einigen Abschnitten der Wirbelsäule eine irreversible Torsion hinzukommen. Jede noch korrigierbare Skoliose kann sich somit zu einer fixierten, nicht mehr korrigierbaren entwickeln.

Hinsichtlich der Form werden die Skoliosen insbesondere nach dem Sitz der Primärkrümmung, nach der Anzahl der Krümmungen und der Seite der Konvexität eingeteilt. Die Einteilung nach King richtet sich nach dem morphologischen Erscheinungsbild der Skoliosen. Nach der Form und Lokalisation der Krümmung werden fünf Kurventypen unterschieden. (Abb.5)

Die Lokalisation der Krümmungen in dieser Klassifikation erfolgt gemäß den Kriterien der „Scoliosis Research Society“, wonach der Apex einer lumbalen Krümmung im Zwischenwirbelraum des 1./2. und 3./4. Wirbelkörpers sowie der Apex einer thorakalen Krümmung zwischen dem 2. und 11. Brustwirbelkörpers zu liegen kommen muss (*Terminology Committee 1976*). Die relativen Häufigkeiten beziehen sich auf die Auswertungen von *King et al. 1983, 1994, Matzen 2002*).

- Typ I (ca. 13%): doppelbogige Skoliose, wobei die thorakale und die lumbale Krümmung jeweils die Mittellinie überschreiten, lumbale Krümmung größer und rigider als die thorakale Krümmung, „echte“ doppelbogige Skoliose
- Typ II (ca. 33%): doppelbogige Skoliose, wobei die thorakale und die lumbale Krümmung jeweils die Mittellinie überschreiten, thorakale Krümmung größer und rigider als die lumbale Krümmung, „falsche“ doppelbogige Skoliose



- Typ III (ca. 33%): thorakale Skoliose, wobei die Nebenkrümmung die Mittellinie nicht überschreitet
- Typ IV (ca. 9%): langbogige thorakale Skoliose, wobei der vorletzte lumbale Wirbel in die Krümmung gekippt ist
- Typ V (ca. 12%): doppelbogige strukturelle thorakale Skoliose mit einem in die Konvexität der oberen Krümmung gekippten 1. BWK (positiver T1- Tilt).

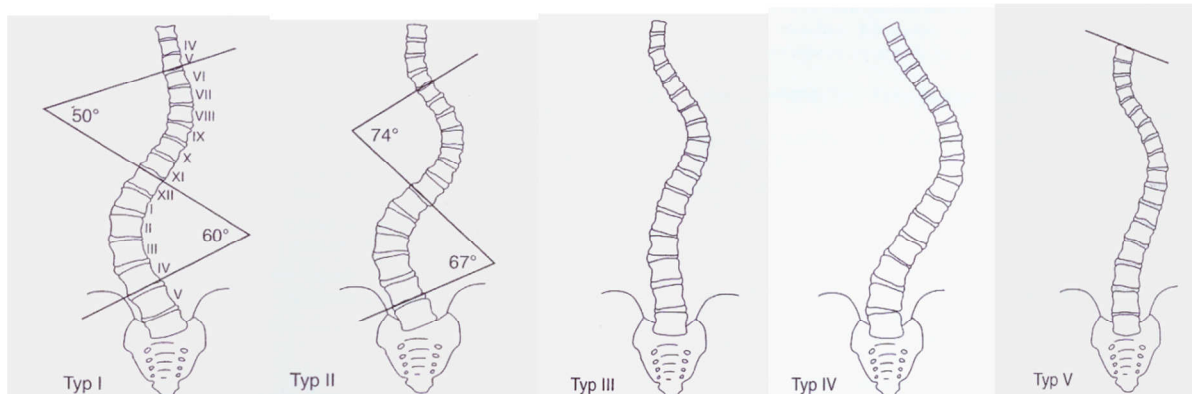


Abb. 5: Klassifikation der idiopathischen rechtskonvexen Skoliosen nach King et al. (1983)

## 1.5 Klinische Diagnostik und Folgen der Skoliose

Da die Skoliose während des Wachstums keine Schmerzen verursacht, werden die Patienten vor allem durch die Deformität klinisch auffällig. Die skoliotische Verkrümmung der Wirbelsäule führt in Abhängigkeit vom Schweregrad der Rotation zu einer Abweichung der Dornfortsatzlinie vom geraden Verlauf. Die Rotation der Wirbel verursacht eine Drehung des Wirbelkörpers in die Konvexität hinein, folglich dreht sich der Dornfortsatz des Wirbels in die Konkavität der Krümmung (Abb.6). Durch diese Wirbelkörperrotation kommt es zur charakteristischen Asymmetrie des Rückenprofils, was im thorakalen Bereich auf der konvexen Seite als Rippenbuckel und auf der konkaven Seite als Abflachung der Thoraxwand imponiert. Analog dazu kommt es im Lumbalbereich zu einer Vorwölbung der konvexseitigen paraspinalen Muskulatur. Diese Prominenz bezeichnet man als Lendenwulst, die konkave Seite dagegen als Lendental (*Witt et al. 1990*) (Abb. 7 a). Klinisch täuscht das Rückenrelief oft eine geringere Verbiegung der Wirbelsäule vor, als dies in Wirklichkeit der Fall ist, da ventral eine ausgeprägtere Verdrehung des Wirbelkörpers vorliegt als im Bereich der

Dornfortsätze dorsal. Durch starke Torquierung kann bei hochgradigen Skoliosen eine Kyphose imponieren, obwohl eine Lordosierung der erkrankten Wirbelsäulensegmente vorliegt (*Cruickshank et al. 1989*).

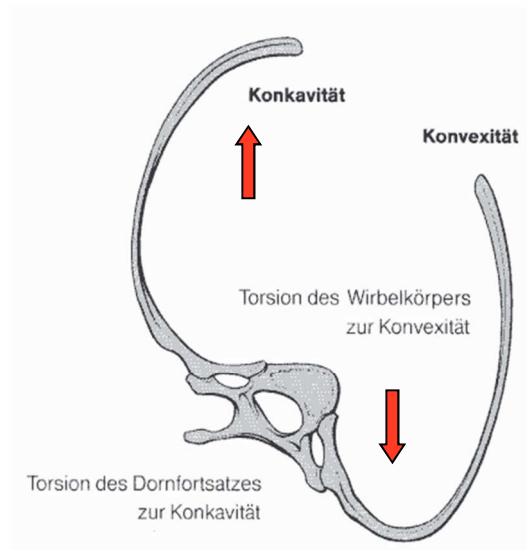


Abb. 6: Rippenverlauf im Thoraxschnitt (modifiziert aus Niethard/Pfeil, 2003)

Im Brustbereich zeigen sich bei Mädchen eine „Pseudovergrößerung“ mit vermeintlich tieferem Ursprung der linken und eine „Verkleinerung“ mit höherem Ansatz der rechten Brust als Zeichen der gegensinnigen Rippenbewegungen im vorderen Thoraxbereich. Bei Jungen imponiert gelegentlich eine fehlinterpretierte asymmetrische „Brustdelle“ bzw. Trichterbrust (*Matussek et al. 2000*). Die Taillendreiecke erscheinen aufgrund des lumbalen Lendenwulstes konvexseitig verstrichen und resultieren konkavseitig vertieft. Äußerlich sind Rippenbuckel und Lendenwulst bei höhergradigen Skoliosen bereits im Stand sichtbar. Geringere Seitendifferenzen bei Skoliosen leichteren Grades sind erst bei maximaler Kyphosierung der Wirbelsäule erkennbar. Dazu neigt der Patient beim sogenannten Vorbeugetest den Oberkörper im Stand nach vorn (*Götze 1990*) (Abb. 7 b).

Die Rumpfasymmetrie verursacht eine Stellungsasymmetrie der Schulterblätter, wobei das Schulterblatt auf der konvexen Seite der Krümmung absteht, was das kosmetische Problem des Rippenbuckels weiter verstärkt. Das Schulterblatt auf der konkaven Seite der Krümmung legt sich der Thoraxwand an und tritt tiefer.



Abb. 7 a + b: Thorakolumbalskoliose mit Rippenbuckel und Lendenwulst

Im Vorbeugetest sichtbare rechtskonvexe Thorakalskoliose

Die durch das Fehlwachstum der Wirbelkörper verursachte Torsion und Rotation führt weiterhin zu einer Lordosierung des sagittalen Profils, was im thorakalen Bereich als Hypokyphose oder Flachrücken imponiert. Bei Thorakolumbalskoliosen findet sich hingegen häufig eine Kyphosierung des thorakolumbalen Überganges im Sinne eines Rundrückens (*Liljenqvist 2002*). Meist kann selbst bei Vorneigung des Oberkörpers in der sogenannten Päckchenstellung eine vermehrte Lordosierung der Krümmung nicht stärker kyphosiert werden. Dies wird als Anteflexionshemmung bezeichnet (Abb.8).

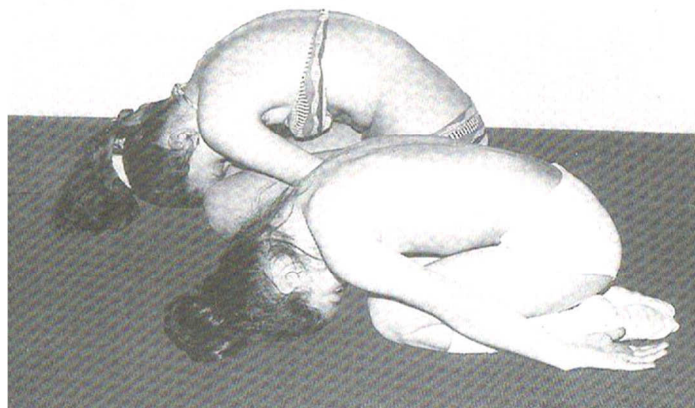


Abb. 8: Päckchenstellung aus *Tomaschewski / Popp, 1992*

Oben mit normaler Kyphosierung der Wirbelsäule (der Kopf liegt auf den Knien),  
unten mit Anteflexionsstörung der mittleren Brustwirbelsäule

Als prognostisch ungünstig ist eine Abweichung der Wirbelsäule vom Lot, welches von C7 in Richtung S1 gefällt wird, anzusehen. Der Kurvenverlauf der Primärkrümmung kann durch Sekundärkrümmungen nicht mehr kompensiert werden, sodass diese Dekompensation bis zur verminderten Steh- und Gehfähigkeit führen kann.

Mit zunehmendem Krümmungswinkel steigen auch die Verschlechterungstendenz und das Risiko körperlicher Beeinträchtigungen. Deformationen und Rumpfverkürzung und damit eine Verkleinerung des Brust- und Bauchraumes mit Funktionseinschränkungen innerer Organe sind Folgen stark ausgeprägter Skoliosen. Vor allem bei thorakalen Skoliosen muss mit einer vermehrten Rechtsherzbelastung und Cor pulmonale (*Veraart und Jansen 1990*) sowie Einschränkungen der Lungenfunktion gerechnet werden (*Ascani et al. 1985*). Dabei korreliert die Abnahme der Vitalkapazität direkt mit der Größe der thorakalen Krümmung. Pro 10° Skoliosewinkel wird die Vitalkapazität um 10% herabgesetzt. Signifikante Einschränkungen werden jedoch erst ab Krümmungswinkeln von ca. 80° nach Cobb erwartet. Folglich ist erst bei höhergradigen Skoliosen mit einer erhöhten Mortalitätsrate im Vergleich zur Normalbevölkerung ohne Skoliose zu rechnen (*Weinstein 1989, 2003*). Des Weiteren spielen körperliche Schmerzzustände und kosmetische Beeinträchtigungen, letztere vor allem bei den weiblichen Patienten, eine große Rolle. Ab einem Cobb- Winkel von 40° ist der Rippenbuckel deutlich zu erkennen, was zu einer starken psychischen Belastung und zu einer Einschränkung der Lebensqualität führen kann (*Weinstein 1999, Danielsson et al. 2001*). Im lumbalen Bereich beginnt die kosmetisch störende Beeinträchtigung ab einem Cobb- Winkel von 60°. Jedoch ist nach unseren Erfahrungen ein Rippenbuckel auch schon bei Cobb- Winkeln unter 20° äußerlich auffällig, wenn dieser mit einer gewissen Rotation der Wirbelsäule verbunden ist.

#### 1.6 Spontanverlauf idiopathischer Skoliosen (natural history)

Grundlage aller Überlegungen zur konservativen oder operativen Therapie ist das gegenwärtige Wissen über den Spontanverlauf der idiopathischen Skoliose.

Unbestritten ist der Einfluß des Alters, in dem sich eine Skoliose manifestiert, auf deren Progredienz (*James 1954*). Die Progredienzwahrscheinlichkeit einer idiopathischen Skoliose ist umso größer, je früher sie auftritt (*Ponseti und Friedmann 1950, Scott und Morgan 1963*) und je stärker sie zum Diagnosezeitpunkt ausgeprägt ist (*Brooks et al. 1975, Rogala und Drummond 1978, Bunnel 1988, Rowe et al. 1997,*

Shaughnessy 2007) (Tab. 2). Es ergibt sich in der folgenden Tabelle eine klare Linie des 50 : 50 Risikos für die Progredienz. Sie gibt damit die allgemein gültigen Kriterien als Orientierung für die Indikation zur Korsettversorgung wieder.

Krümmung	Alter		
	10-12	13-15	>16
Therapiebeginn 50% zu 50%			
<20°	25%	10%	0%
20°-30°	60%	40%	10%
30°-60°	90%	70%	30%
>60°	100%	90%	70%

Tabelle 2: Progredienzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter (nach Bunnell, 1988)

Bezüglich der Lokalisation der Krümmung weisen thorakale und doppelbogige ein erhöhtes Progredienzrisiko auf (Ponseti und Friedmann 1950, Lonstein und Carlson 1984, Soucacos et al. 1998, Jonathan et al. 2009, Wu et al. 2010). Ein weiterer Progredienzfaktor ist die Rotation, wobei ein proportionaler Zusammenhang zwischen dem Skoliosewinkel und dem Ausmaß der Rotation vermutet wird (Mau 1982).

Die größte Verschlechterung der Skoliose findet während des präpubertären Wachstumsschubes statt (Stagnara und Desbrosses 1960, Heine und Reher 1975, Lonstein und Carlson 1984). Dabei ist die unterschiedlich starke Progredienz der männlichen und weiblichen Patienten in der gleichen Altersstufe mit dem unterschiedlichen Zeitpunkt des Einsetzens der Pubertät zu erklären (Meurer et al. 1994, Jonathan et al. 2009). Dieser findet sich bei Mädchen im 11.-14. Lebensjahr, bei Jungen hingegen erst im Alter von 13-16 Jahren (Tanner et al. 1966). Bei eintretender Menarche ist noch mit einem ca. 2 Jahre dauernden relativ starken Wachstum zu rechnen. Weiterhin besteht hinsichtlich des biologischen Alters eine enge Korrelation zu den Stadien der Ausreifung der Darmbeinkammapophysen (Risser und Ferguson 1936). Das Restwachstum lässt sich grob nach der Faustregel: Risserstadium plus Restwachstum ergibt die Zahl 5, ermitteln (Stücker 2010). Bei Unreife des Skeletts bei der Erstmanifestation der Skoliose besteht ein hohes Risiko einer Progression (Peterson und Nachemson 1995). Ist die Darmbeinkammapophyse jedoch mit dem Darmbein verschmolzen, so ist kein wesentliches Wachstum der Wirbelsäule mehr zu erwarten (Dhar et al. 1993) (Tab. 3). Somit wäre ab dem Risserstadium II bis III der Beginn einer Korsetttherapie äußerst fragwürdig (Landauer 2005). Aus unserer Sicht

ist der Beginn einer Korsetttherapie bei einer Resttragezeit von 9 Monaten bis zum Wachstumsabschluss, also auch bei einem Risserstadium von 3, verbunden mit einer guten Korrigierbarkeit der Krümmung in der Bendingaufnahme, sinnvoll. Die Einschätzung der Wachstumsreserve, die durch Bestimmung des Risserzeichens visualisiert werden kann, ist für die Planung der Therapieoptionen, ob konservativ oder operativ, von großer Bedeutung (*Kim et al. 2009*).

Skoliosegrad	Risser- Zeichen	
	0 – 1	2 - 4
0° - 20°	22%	2%
21° - 29°	68%	23%

Tabelle 3: Progressionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Schweregrad und Risserzeichen (*nach Lonstein, 1981*)

Auch nach Wachstumsabschluss ist, besonders bei Skoliosen mit Cobb- Winkeln von über 50° thorakal und über 30° lumbal, eine langsame, aber stetige Progredienz von 0,5 – 1° pro Jahr nachgewiesen (*Collis und Ponseti 1969, Weinstein und Ponseti 1983, Ascani et al. 1986, Dhar et al. 1993, Montgomery et al. 1997, Veldhuizen et al. 2000*).

### 1.7 Therapiemöglichkeiten der Skoliose

Das Ziel der Skoliosetherapie ist es, die Progredienz der Erkrankung aufzuhalten, bestehende Krümmungen zu korrigieren und bereits erreichte Therapieerfolge zu erhalten. Die Auswahl einer therapeutischen Maßnahme ist von der Ätiologie der Skoliose, dem Lebensalter und der noch vorhandenen Wachstumsreserve, dem Ausmaß der Deformität und der Progression abhängig. Um diese Ziele zu erreichen, stehen verschiedene Behandlungsprinzipien zur Verfügung, welche in funktionelle, redressierende und stabilisierende Methoden unterteilt werden können (*Götze 1984*). Damit stehen Physiotherapie und Korsettbehandlung als konservative Maßnahmen neben der operativen Alternative im Vordergrund. Die Elektrostimulation hat sich als nicht effektiv erwiesen und sollte nicht mehr angewendet werden (*Nachemson und Peterson 1995, Focarile et al. 1991*).

### 1.7.1 Krankengymnastik

Leichte Skoliosen mit einem Cobb- Winkel zwischen 10° und 20° werden funktionell bzw. physiotherapeutisch behandelt. Der Grundgedanke besteht darin, durch Trainieren der konvexseitigen, schwächeren Muskulatur, die Dysbalance der Rumpfmuskulatur auszugleichen und die Wirbelsäulenkrümmung aktiv aufzurichten. Dabei ist die Beseitigung der muskulären Dysbalance von der Verminderung der Mobilitätseinschränkung bzw. Rigidität abhängig. Neueren Studien zufolge ist die Rückenmuskulatur vor allem im Scheitelbereich der Krümmung auf der konkaven Seite am stärksten ausgeprägt, wohingegen die Muskeln der konvexen Seite durch Überdehnung insuffizient sind (*Zoabli et al. 2007*). *Kenanidis et al. (2008)* untersuchten Sportler und Nichtsportler auf einen Zusammenhang sportlicher Aktivitäten mit dem Auftreten einer Skoliose. Dabei konnte kein Einfluss sportlicher Übungen auf die Entwicklung und den Schweregrad der skoliotischen Hauptkrümmung nachgewiesen werden.

Die Ziele der krankengymnastischen Skolioseetherapie bestehen in einer Verbesserung der skoliotischen Haltung und der allgemeinen Körperhaltung mit Anteflexionsmobilisation der Wirbelsäule, Korrektur von Seitabweichungen der Lendenwirbelsäule durch isometrische Spannung, Entlordosierung durch Aufrichtung des Beckens sowie Korrektur von Konvexitäten durch Seitneigen und asymmetrisches Vorneigen des Rumpfes (*Hefti 1998*). Weiterhin wird eine Kräftigung bestimmter wirbelsäulenstabilisierender Muskelgruppen der Rumpf- und Körpermuskulatur erreicht, was das Beibehalten der Haltungskorrektur erleichtern soll. Begleitend dient sie zur Verbesserung der Lungenfunktion (*Ebenbichler et al. 1994*).

Um diese Behandlungsziele zu erreichen, stehen heute verschiedene spezifische krankengymnastische Skoliosebehandlungskonzepte zur Verfügung:

- die Skolioseetherapie nach Schroth beruht auf dem Prinzip der „Drehwinkelatmung“, bei der durch eine forcierte und bewusste Atmung in die Konkavseite hinein versucht wird, die Hebelwirkung der Rippen auf die Wirbelsäule auszunutzen, um eine asymmetrische Aufrichtung und Derotation unter Spiegelkontrolle zu erwirken (*Lehnert-Schroth 1974, Weiss 1995*). Sie kann auch in Verbindung mit einem geeigneten Korsett, durch Atmen in die Freiräume hinein, durchgeführt werden.

- das Klapp'sche Kriechverfahren ist eine Fortbewegung im Vierfüßlergang, wobei die Wirbelsäule in ihrer Dreidimensionalität mobilisiert, Fehlformen korrigiert und die Muskulatur in Kraft und Ausdauer geschult wird (*Klapp 1905*).
- die Skoliotherapie nach Gocht- Gessner zieht auf die konvexseitige, als überdehnt und insuffizient beurteilte Quermuskulatur, die es durch gezielte isometrische Übungen anzugehen gilt (*Weiss und Rigo 2001*).
- bei der Skoliotherapie auf sensomotorisch- kinästhesiologischer Grundlage (PNF- Technik = propriozeptive neuromuskuläre Faszilitation) werden durch spezielle krankengymnastische Übungen komplexe Bewegungsmuster ausgelöst, die die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit verbessern.
- die Verfahren auf entwicklungskinesiologischer Grundlage (E-Technik n. Hanke) nutzen die vorhandenen Bahnungs- und Hemmungsmechanismen des Nervensystems unter Berücksichtigung der motorischen und sensorischen Entwicklung, um gestörte Bewegungsmuster zu verändern (Reflexkriechen, Reflexumdrehen) (*Hanke 1983*).
- die Behandlung nach Niederhöffer versucht durch isometrische Kontraktion der schräg- und querverlaufenden Muskulatur im Konkavbereich der Skoliose eine Abflachung des Rippenbuckels und Lendenwulstes zu erreichen (*Niederhöffer 1942*).

Bis heute sind jedoch keine gut dokumentierten Studien bekannt, welche die Wirksamkeit der Physiotherapie als alleinige konservative Behandlungsmaßnahme zur Verhinderung der Progredienz der Skoliose belegen, was die alleinige Anwendung dieser Therapieform in der Skoliotherapie ausschließt (*Focarile et al. 1991*). Eine im Jahre 2003 publizierte Studie konnte jedoch nachweisen, dass Skoliosen nach Schroth- Therapie signifikant weniger progredient waren als die Unbehandelten (*Weiss et al. 2003*). Lediglich bei Krümmungen unter 20° werden intensive krankengymnastische Übungsbehandlungen als alleinige Therapie unter regelmäßiger klinischer und radiologischer Kontrolle befürwortet. Als Ergänzung zu anderen Behandlungskonzepten wie etwa der Korsetttherapie oder der Operation besitzt die Physiotherapie einen wichtigen Stellenwert. Die Indikation zur Krankengymnastik besteht somit als begleitende Therapie zur Orthesenbehandlung und zur operativen Stabilisierung sowie zur Behandlung funktioneller Fehlhaltungen (*Landauer et al. 1997, Böni et al. 2002*).



### 1.7.2 Korsettbehandlung

Die Indikation zur Korsettversorgung ergibt sich bei Skoliosen mittleren Ausprägungsgrades mit Cobb- Winkeln zwischen 20 und 40°, einer Progredienz von mehr als 5° innerhalb 6 Monaten und noch vorhandener Wachstumspotenz von mindestens einem Jahr bis zur endgültigen Skelettreife (*Hopf 2000*). Bei Cobb- Winkeln über 30° und noch vorhandener Wachstumspotenz besteht die Indikation auch ohne nachgewiesene Progredienz. Neben dem Röntgenbefund und der Abschätzung von Faktoren wie Rotationszeichen, Lotabweichungen, Teilfixierungen, familiärer Skoliosebelastung, Bandlaxizitäten und Skoliosetyp ist für die Indikationsstellung die Beurteilung des Wachstums- und Reifestatus von großer Bedeutung. Zum Beispiel kann die Grenze bei positiver Familienanamnese oder dokumentierter Verschlechterung um einige Grade nach unten verschoben werden. Ein fortgeschrittenes Lebensalter erlaubt hingegen eine Progredienzbeobachtung. Um das verbleibende Korrekturpotential und damit die Erfolgsaussichten der Korsetttherapie einzuschätzen, können Bendingaufnahmen, das bedeutet Aufnahmen in maximaler Seitneige mit Aufklappen der Konkavität, als Entscheidungshilfe dienen. Gute Korrekturergebnisse in einer Bendingaufnahme sprechen trotz fortgeschrittenen Alters für eine Korsetttherapie, da nicht nur von einem guten Korrekturpotential, sondern auch von einer erhöhten Progredienzwahrscheinlichkeit ausgegangen werden muss (*Landauer 2007*).

Die Entscheidung zur Korsettversorgung sollte daher individuell und mit einem realistischen Therapieziel erfolgen. Einerseits besteht das vorrangige Therapieziel dabei in erster Linie in der Verhinderung der Operation. Dazu sollte der Cobb- Winkel nach Korsettabbau auf unter 50° stabilisiert werden (*Weiss et al. 2002; Landauer 2007*). Andererseits kann auch die Heranführung an den günstigsten Operationszeitpunkt die Aufgabe eines Korsetts sein.

Begleitend zur Korsetttherapie muss eine gezielte Skoliosegymnastik durchgeführt werden, um eine Atrophie der paravertebralen Muskulatur, welche während der Korsetttragedauer weniger Haltearbeit leisten muss, zu verhindern. Weiterhin ist sie als Atemtraining wesentlicher Bestandteil der Therapie mit aktiven Korsetten.

Die Effizienz der Korsetttherapie ist umso größer, je länger die tägliche Tragedauer ist. Das Korsett sollte 23 Stunden täglich bis zum Wachstumsabschluß getragen werden, um den Erfolg der Korsetttherapie zu maximieren (*Rowe et al. 1997, Nachemson und*

*Peterson 1995*). Eine neue Studie von *Katz et al. (2010)* beweist die Effektivität des Korsetts mit geringerer Progredienz und Operationsnotwendigkeit bei einer Tragedauer von über 12 Stunden am Tag. Während der Korsetttherapie sind je nach körperlicher Entwicklungsphase klinische Kontrollen im 3- monatigen Intervall und röntgenologische Kontrollen in 6- bis 12 monatigen Abständen empfehlenswert. Bei Vollendung des Risserstadiums IV kann mit der Abschulung vom Korsett begonnen werden. Die Abschulung sollte schrittweise über mehrere Monate hinweg erfolgen und von vermehrter Physiotherapie begleitet werden (*Weinstein und Ponseti 1983*). Aus unserer Sicht sollte mit der Abschulung des Korsetts erst bei Vollendung des Risserstadiums V begonnen werden, diese sollte dann über 3 Monate hinweg erfolgen und der „Korsettverlust“ mit schrittweise intensiverter Krankengymnastik kompensiert werden.

### 1.7.3 Operative Therapie

Die Indikation zur operativen Versorgung ist von Alter, Ausgangsbefund, Lokalisation, Flexibilität und der eventuellen Möglichkeit einer erfolgreichen Korsettbehandlung abhängig. Auch Untersuchungen über den natürlichen Verlauf idiopathischer Skoliosen nach Wachstumsabschluss sind zur Indikationsstellung zu berücksichtigen. Sie ist bei Skoliosen ab 40° im Thorakalbereich und 50° im Thorakolumbal- und Lumbalbereich gegeben, wenn unter Berücksichtigung aller Risikofaktoren eine weitere Progredienz erwartet werden muss (*Bullmann et al. 2004*). Bezüglich des Operationszeitpunktes gilt einerseits, dass eine frühe Operation bei noch flexiblen leichteren Krümmungen, verglichen mit fortgeschrittenen rigiden Skoliosen, ein deutlich geringeres neurologisches Operationsrisiko, bessere Korrekturwerte und kürzere Behandlungszeiten aufweist (*Hopf 2000*). Andererseits zeigt das von Dubousset erstmals im Jahre 1989 beschriebene „Crankshaft-Phänomen“ die Grenzen einer frühzeitigen, insbesondere dorsalen Stabilisierung, auf. Dieses Phänomen beschreibt das Auftreten einer postoperativen Krümmungsprogredienz in allen drei Ebenen als Folge einer fehlenden Fusion der ventralen Wachstumszonen bei Patienten, die in einem Risserstadium 0-1 operiert worden sind (*Dubousset et al. 1989, Dohin und Dubousset 1994, Shufflebarger und Clark 1991, Sanders et al. 1995*). Den idealen Operationszeitpunkt stellt das Risserstadium 2 dar, da hier kein Crankshaft- Phänomen mehr zu erwarten ist, die Krümmung aber noch entsprechend

flexibel ist. Bei jungen Patienten mit Krümmungen bis 50° sollte versucht werden, bis zum Erreichen des Risserstadiums 2 eine temporäre Orthesenversorgung durchzuführen, um sie dann einer endgültigen operativen Therapie zuzuführen (*Hopf 2000*). Besteht jedoch unter Korsetttherapie eine Progredienz juveniler Skoliosen sollte ein operatives Vorgehen mit Anwendung von Non-Fusion-Techniken (SMA-Klammern, Growing rods, vertebral expandable prosthetic titanium rib) in Betracht gezogen werden, um die Entwicklung des Lungenparenchyms mit einer guten Lungenfunktion zu gewährleisten (*Stücker 2009, Geiger 2009, Kim et al. 2009*).

Aus der natural history der idiopathischen Skoliose geht hervor, dass Cobb- Winkel über 40° im Adoleszentenalter aufgrund der schlechten konservativen Behandlungsmöglichkeiten und Cobb- Winkel über 50° nach Abschluss des Längenwachstums aufgrund der erheblichen Progredienz einer Operation zugeführt werden sollten (*Soucacos et al. 1998, Kim et al. 2009*). Dabei muss neben dem reinen Krümmungsausmaß ebenso das sagittale Profil, der Tilt, das mögliche Korrekturausmaß in den Bendingaufnahmen sowie die Lokalisation der cranialen und caudalen Endwirbel zur Stellung der Operationsindikation sowie zur Wahl des operativen Verfahrens herangezogen werden.

Die operative Therapie mit mehrsegmentalen ventral und/ oder dorsal implantierten Instrumentarien hat sich in der Skoliosechirurgie etabliert. Dabei hat sich die Klassifikation nach Lenke zur Indikationsstellung und Auswahl der operativen Methode durchgesetzt (*Lenke et al. 2001*). Für lumbale oder thorakolumbale Skoliosen (Typ 5) ist die ventrale Derotationsspondylodese die Methode der Wahl. Thorakale Skoliosen (Typ 1+2) können wegen der nicht- strukturellen lumbalen Krümmung dorsal instrumentiert werden. Bei kombinierten Krümmungen (Typ 3,4+6) muss von Fall zu Fall entschieden werden, ob eine dorsale Instrumentation ausreicht oder eine ventrale und dorsale Spondylodese kombiniert werden sollten (*Franz 1996*). Meist wird ein zweizeitiges Vorgehen mit ventraler Aufrichtung der lumbalen Skoliose und nachfolgender dorsaler Aufrichtung der thorakalen Skoliose empfohlen (*Klöckner et al. 2000, Hefti 1998*).

Angestrebt werden dabei eine optimale dreidimensionale Krümmungskorrektur mit physiologischer und lotgerechter Wirbelsäulenausrichtung, ein gutes kosmetisches Ergebnis mit maximaler Reduktion des Rippenbuckels und Sicherstellung eines Schultergeradstandes sowie eine Wiederherstellung der Rumpfsymmetrie, eine möglichst kurze Fusionsstrecke unter Vermeidung der Instrumentation tieflumbaler

Wirbelkörper und eine primär stabile Instrumentation, welche eine korsettfreie Nachbehandlung ermöglicht (*Klöckner et al. 2000*). In einer neueren Arbeit wird auf die Optimierung des sagittalen Profils großer Wert gelegt. Ausschließlich die ventralen Systeme können eine Lordosierung der Wirbelsäulenabschnitte vermeiden bzw. eine präoperativ thorakale Hypokyphose postoperativ korrigieren (*Halm et al. 2009*).

Bei der Anwendung von ventralen Verfahren sind Korrekturen der frontalen Ebene zwischen 60 und 80%, bei dorsalen Verfahren zwischen 50 und 80% zu erreichen (*Halm et al. 2000, Liljenqvist 2002*). Eine Entfernung der Korrekturstäbe wird nicht angestrebt. Frühestens nach einem Jahr ist die Spondylodese knöchern durchbaut, sodass ab diesem Zeitpunkt mit sportlichen Betätigungen wieder begonnen werden kann. Postoperativ nicht zu empfehlen sind Sportarten wie Bodenturnen, Springreiten, Trampolinspringen und Kontaktsportarten.

### 1.8. Strategie der Korsettbehandlung

Im Gegensatz zur operativen Therapie, bei der es direkt auf die Veränderung der Wirbelsäule in Anlehnung an ein Achsenskelettmodell ankommt, ist bei der Korsettbehandlung die Oberfläche des Rückens in der Betrachtungsweise eines Oberflächen-Reliefmodells maßgebend. Anhand dieses Modells lassen sich Ursache und Wirkung direkt überprüfen und ablesen. Gemäß biomechanischer Prinzipien können einzelne Krümmungen passiv durch

- Extension- Schub/ Zugkräfte,
- Derotation- dorsale und ventrale Druckkräfte,
- Translation- seitliche Druckkräfte und
- Umkrümmung- Biegekräfte

korrigiert werden oder aber am Patienten eine aktive Skoliosekorrektur auslösen. Die passive Korrekturkomponente wirkt nach dem 3- Punkte- Prinzip über Druckpelotten im Korsett an den jeweiligen Konvexitäten der Krümmungen. Die aktive Korrektur entsteht durch das Erlernen einer speziellen Atemtechnik. Dies geschieht durch selektives Atmen in die Freiräume der Orthese, also in die Konkavität hinein, um damit dem durch die Pelotten ausgelösten Druck auszuweichen. Dadurch kann eine Korrektur in allen 3 Raumebenen erreicht werden und je nach Positionierung der Pelotte und des zugehörigen Expansionsbereichs eine derotierende, extendierende sowie eine umkrümmende Wirkung erzielt werden. Auf das Oberflächenrelief mit

Seitverbiegung des Rumpfes und dessen konkaven und konvexen Abschnitten, Schulter- und Beckenschiefstand sowie den dorsalen und ventralen Rippenbuckeln als Folge der Wirbelkörperrotation kann somit durch entsprechende Pelottenanordnung reagiert werden (*Matussek et al. 2000*). Die Korrekturprinzipien beruhen zudem auf einer Extension der Wirbelsäule durch ventrale Beckenaufrichtung und Abdominalkompression mit Verringerung der lumbalen Lordose und aktiver kompensatorischer Reduktion der thorakalen Kyphose, im Sinne einer „hydraulischen Korrektur“, sowie Korrektur der seitlichen Verbiegung und der Torsion (*Lindh 1980*). Das Ziel ist dabei eine Hyperlordose in eine physiologische Lordose zu korrigieren und eine ausreichende Kyphose der BWS mit Derotation der Verbiegungen zu erreichen (*Carlson und Winter 1999*). Dies ist beim Bau der Orthese zu berücksichtigen (*Rexing und Büsch 1990*). Der richtige Sitz und eine optimale Druckwirkung der Pelotten am gewünschten Ort sind entscheidend für ein gutes Korrekturergebnis (Abb. 9 + 10). Verschiedenartig gerichtete Kräfte in der Orthese werden dazu folgendermaßen ausgenutzt: durch lateralen Druck wird versucht, die Skoliosekrümmung und einen eventuellen Überhang vom Lot auszugleichen. Die von dorsal auf den Rippenbuckel wirkenden Kräfte sollen der Rotation entgegenwirken. Dabei ist das Rotationsverhalten von der Höhe des Wirbelkörpers abhängig. In den oberen Segmenten der Brustwirbelsäule beträgt die physiologische Rotationsfähigkeit 9 Grad und nimmt nach unten hin ab, wo sie in den lumbalen Segmenten nur noch 2 Grad aufweist (*Cochrane et al. 1988*). Durch eine Korsetttherapie wird der Rippenbuckel etwas besser korrigiert als die Skoliose selbst.

Die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen vielversprechende Möglichkeiten durch die Nutzung und den Fortschritt der Technik auf. Computer-gestützte Verfahren zur Korsetttherstellung erlangen immer mehr Bedeutung. Mit CAD/CAM-Systemen kann automatisiert über einen Körperscan mit digitaler Korrektur ein Korsettmodell hergestellt werden, was in Zukunft effizienter sein wird, als die herkömmliche manuelle Herstellungsweise im Gipsabdruck (*Wong 2010*). Neue Überlegungen gehen sogar noch einen Schritt weiter, indem die Skoliosepatienten in hängendem Zustand gescannt werden, um den Vorteil der Korrektur durch die Schwerkraft zu nutzen.

### 1.8.1 Korsetttypen

Es sind verschiedene Orthesetypen mit differierenden Korrekturmechanismen bekannt:

Das früher verwendete **Milwaukee-Korsett** ist ein Distraktionskorsett, welches hauptsächlich in der Sagittalebene wirkt. Es wurde primär als passiv extendierendes Korsett konzipiert (*Blount et al. 1958*). Ein Halsring mit Kinn- und Nackenanlage war durch einen ventralen und 2 dorsale Stäbe mit einem Beckenkorb verbunden. Durch Elongation der Stäbe wurde eine Extension der Wirbelsäule erreicht. Da die Kinnanlage zu Druckstellen und Kieferdeformitäten führte, wurde sie in den 70er Jahren durch eine Mahnpelotte ersetzt, um den Patienten zur aktiven Aufrichtung zu zwingen. Das Milwaukee-Korsett wird nur noch vereinzelt bei hochthorakalen Skoliosen eingesetzt, aber gerade im Schulterbereich ist die Skoliose einer äußeren Krafteinwirkung schlecht zugänglich (*Karbowski et al. 1995*). Weiterhin wird durch den Einsatz extendierender Kräfte das sagittale Profil weiter abgeflacht und die bereits vorhandene thorakale Lordosetendenz verstärkt.

Komprimierende Korsette, wie z.B. das **Wilmington- Korsett** oder das **Lyoner- bzw. Stagnara- Korsett**, sind aktiv - passive Derotationskorsette (*Stagnara und Mollon 1976*). Sie beeinträchtigen durch den starken abdominellen Druck die Lungenfunktion erheblich und führen zu unerwünschten Deformierungen des Rippenthorax (*Hefti 1998*). Die Ergebnisse können zudem wenig überzeugen (*Allington und Bowen 1996*).

Das **Chêneau - Korsett** ist ein aktives Inspirations- Derotationskorsett, welches überwiegend in der Frontalebene wirkt. Es besteht aus einer Kunststoffhülle mit Druckpelotten und ihnen gegenüberliegenden Fensterungen, welche den Brust- und Lendenwirbelsäulenbereich umschließt. Eine Krümmung wird dabei durch translatierende Pelotten nach dem 3- Punkte- Prinzip redressiert: der bis an den Scheitel heranreichenden Thorakalpelotte stehen 2 konkavseitige Pelotten gegenüber, wobei die eine oberhalb als Achselpelotte, die andere unterhalb als Lumbalpelotte zu liegen kommt. Um das 3- Punkte- Prinzip bis auf Beckenniveau fortzusetzen, ist eine konvexseitige Trochanterfassung nötig (sog. 4- Punkte- Prinzip). Dadurch wird zur Streckung der Lendenwirbelsäule ein größerer Hebel erzielt. Die derotierende Wirkung wird durch eine dorsale Komponente der konvexseitigen Thorakalpelotte sowie eine konkavseitig auf gleicher Höhe angebrachte ventrale Komponente erzielt. Um die Derotation zu sichern, sind umgekehrt gerichtet Anlagen auf Schulter- und

Beckenniveau notwendig. Die Derotation der Krümmung wird gleichzeitig durch die aktive Inspiration in die Freiräume hinein erreicht (*Chêneau 1997*). Als Indikationen gelten die idiopathische Skoliose mit einem Scheitelwirbel unterhalb Th 6, die einbogige thorakale und thorakolumbale idiopathische Skoliose, die progrediente idiopathische Skoliose zwischen 20° und 45° nach Cobb vor der Pubertät und die paralytische Skoliose. Das Korsett soll dabei in Ruhephasen eine Stütze sein, in Aktivitätsphasen hingegen die Wirkung eines Rahmens haben, in dem sich die Patienten aktiv in die Korrekturstellung bewegen (*Chêneau 1997*).

Das 1977 eingeführte **Boston-Korsett** zählt ebenfalls zu den Derotationsorthesen (*Watts et al. 1977*). Im Gegensatz zum asymmetrischen Cheneau-Korsett handelt es sich jedoch um ein symmetrisches Korsett. Die Wirbelsäule wird durch einen kräftigen abdominalen Druck und einen Gegendruck unterhalb der Schulterblätter sowie eine tiefe Beckenabstützung möglichst stark entlordosiert. Dadurch werden die konkavseitigen Rückenmuskulatur und die kleinen Wirbelgelenke gedehnt und damit die Voraussetzung für eine Korrektur geschaffen. Weiterhin wirkt das Korsett durch Korrekturpelotten mit zusätzlichen Pelotten auf die Stellen des Körpers, welche von der Symmetrie abweichen (*Petersen und John 1984*). Es wird bei lumbalen und thorakalen Skoliosen eingesetzt.

Heutzutage werden die Prinzipien des Boston- und des Chêneaukorsetts miteinander kombiniert, sodass die aktuellen Korsette als **modifiziertes Chêneau - Boston-Korsett** zum Einsatz kommen.



Abb. 9: Patientin mit Thorakolumbalskoliose und angepasstem Korsett

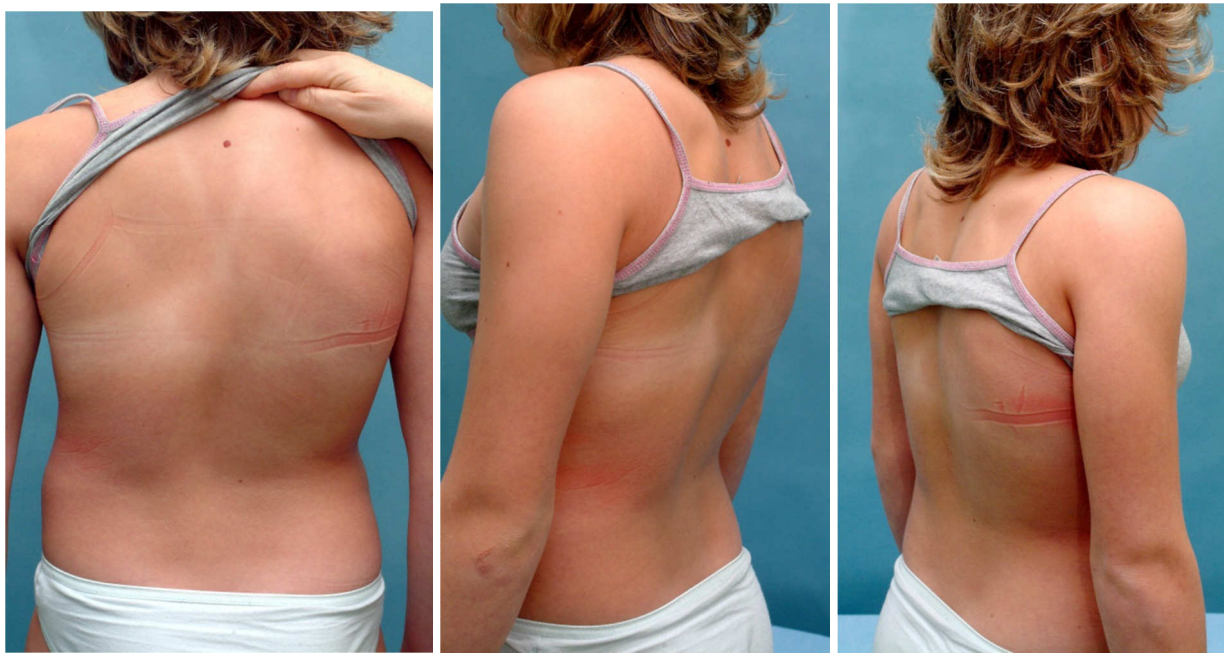


Abb. 10: sichtbare Pelottendruckstellen

Das überkorrigierende **Charleston-Bending-Brace** wird als „night- /part-time-bracing“ nur nachts im Liegen verwendet. Das Korsett hält den Patienten in maximaler Seitneige der zu behandelnden Krümmung. Durch Druck auf den Apex der Krümmung und das axilläre Widerlager wird eine langbogige Umkrümmung der Skoliose erreicht. Sein Anwendungsgebiet beschränkt sich auf die Behandlung der geringgradigeren, singulär thorakolumbalen und lumbalen Krümmungen mit Cobb- Winkeln von 15-25° oder bei Nichtakzeptanz einer konventionellen Orthese (*Price et al. 1990, Selle und Seifert 2008, Seifert und Selle 2009, Noonan et al 1996, O'Neill et al. 2005, Grivas et al. 2008*).

Neuere **dynamische Korsette** wie z.B. das SpineCor mit Stoffbändern, welche eine Zugwirkung bei Bewegungen ausüben, erbringen eine bessere Akzeptanz und damit eine bessere Compliance. Diese korrigierenden Bewegungen über den Zug der Bänder bewirken eine neuromuskuläre Integration über ein aktives Biofeedback. Die Effektivität wurde in einigen neueren Studien nachgewiesen. Zukünftige Studien werden jedoch benötigt, um die genannten Ergebnisse zu festigen (*Coillard et al. 2003, 2007*).



### 1.8.2 eigenes Therapieregime

Wachstumsalter	
Skoliosewinkel < 20°	Physiotherapie
Skoliosewinkel 20 - 30°	Korsetttherapie mit begleitender Physiotherapie
Skoliosewinkel 30 - 40° thorakal	Korsetttherapie mit begleitender intensiver Physiotherapie
30 - 50° lumbal	
Skoliosewinkel > 40° thorakal	Operation
> 50° lumbal	
nach Wachstumsabschluß	
Skoliosewinkel < 40° thorakal	keine Therapie
< 50° lumbal	
Skoliosewinkel 40 - 60°	bei Wunsch des Patienten oder lumbal bei Dekompensation
Skoliosewinkel > 60°	Operationsempfehlung aufgrund zu erwartender Progredienz

### 1.9 Prognose

Durch eine Korsettbehandlung kann die Progredienz der Skoliose aufgehalten oder verlangsamt, jedoch in vielen Fällen nicht dauerhaft korrigiert werden (*Kim et al. 2009*). Zu Therapiebeginn kann oftmals eine Krümmungsminderung um bis zu 50 % erreicht werden. Dieser Therapieerfolg geht aber nach Beendigung der Behandlung nach Wachstumsabschluss in einigen Fällen wieder verloren. Bei guter Compliance des Patienten entspricht der Winkel 2 Jahre nach Korsetttherapie wieder annähernd dem Ausgangswinkel (*Hefti 1998, Nachemson und Peterson 1995*). Andere Autoren geben eine Zunahme des Cobb- Winkels um etwa 5° nach Absetzen des Korsetts an (*Montgomery und Willner 1990*).

Als prädiktive Erfolgsfaktoren einer Korsetttherapie gelten eine Reduktion des Cobb- Winkels und der Wirbelkörperrotation während der Orthesenbehandlung und nach Abschulung. Die Progredienz beider Faktoren unter Korsetttherapie mit schlechteren Werten als im Ausgangsbefund wird als Hinweis auf ein Therapieversagen gewertet (*Upadhyay et al. 1995, Wu et al. 2010*).

Bei der Korsettbehandlung ist vor allem die Compliance der Patienten als limitierender Faktor für den Erfolg der Therapie anzusehen. Statt der bisher verordneten Tragedauer von 23 Stunden täglich (Full-time-bracing) können bei einfachen Skoliosen geringeren Ausprägungsgrades, bereits mit einer Tragedauer von 8- 16 Stunden pro Tag (Night- /Part-time-bracing) vergleichbar gute Ergebnisse erzielt werden (*Katz et al. 1997, Allington und Bowen 1996, Green 1986, Seifert und Selle 2009*). Die Reduktion der Tragezeit und die geringeren Korrekturdrücke steigern die Compliance deutlich, was bei der Korsettbehandlung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Für Skoliosen oberhalb von 25° Cobb- Winkel differieren die Ergebnisse zum Part- /Night-time-bracing in der Literatur jedoch deutlich. Sie kann somit die Full-time-Behandlung nicht für alle Krümmungsstärken ersetzen, kann aber eine Alternative zur Frühversorgung geringgradiger Skoliosen darstellen (*Selle und Seifert 2008*).

Hingegen ist auch bei guter Compliance, aber schlechter Primärkorrektur (< 40%) keine langfristige Krümmungsverbesserung zu erreichen, da hier in der Rigidität der Krümmung mit seiner geringen Progredienzwahrscheinlichkeit, die Ursache zu suchen ist (*Landauer 2005*).

Ist trotz mehrfacher Korsettkorrekturen kein besseres Ergebnis zu erzielen, so muss die Weiterführung der Therapie kritisch hinterfragt werden. Eine Primärkorrektur von unter einem Drittel des Ausgangs- Cobb- Winkels ist somit als Abbruchkriterium zu betrachten (*Landauer 2007*). Die Grenze zum Erfolg der Korsettbehandlung können aber auch Faktoren wie das Übergewicht, die psychologische Belastbarkeit und vieles mehr bilden (*Matsunaga et al. 2005, O'Neill et al. 2005*).

## **2. Ziele der Arbeit**

Trotz zahlreicher Studien und Publikationen liegen über den Verlauf idiopathischer Skoliosen noch keineswegs endgültig gesicherte Erkenntnisse vor. Selbst in der neueren Literatur werden unterschiedliche Angaben zur Progredienz gemacht, da den einzelnen Untersuchungen verschiedene Ausgangsbedingungen zugrunde liegen und der Begriff „Progredienz“ nicht einheitlich definiert ist. Weiterhin gibt es keine einheitlichen, allgemein anerkannten Richtlinien für das therapeutische Vorgehen bei idiopathischen Skoliosen.

Dies war der Grund, eigene Untersuchungen mit Patienten und Datenmaterial der Universitätsklinik Jena anzustellen. Am Lehrstuhl für Orthopädie in Eisenberg wurde ein Patientenkollektiv idiopathischer Skoliosen mit lumbalen und thorakalen Primärkrümmungen ausgewählt.

Ziel war es, durch die detaillierte Auswertung zahlreicher Röntgenaufnahmen dieser Skoliosepatienten, für die Korsetttherapie sowie die Progredienz der Skoliose nutzbringende Aussagen zu treffen. Dazu wurden die Röntgenbilder der Skoliosepatienten im Verlauf, also vor, während und nach der Korsettbehandlung ausgemessen, um die Korsettwirksamkeit zu beurteilen. Mit der Auswertung dieser Daten sollte untersucht werden, ob es für Patienten mit lumbaler und thorakaler Hauptkrümmung unterschiedliche Ansätze in der Korsetttherapie gibt. Weiterhin sollte der Frage nachgegangen werden, ob es spezielle Kriterien gibt, die eine Prognose über den Verlauf der idiopathischen Skoliose unter Korsetttherapie zulassen. Es sollten also solche Kriterien benannt werden, die einen ungünstigen progredienten und solche, die einen milden Verlauf erwarten lassen. Dazu wurden die erhobenen Daten, speziell das Alter bei Korsetterstversorgung, die Korsetttragedauer, der Ausgangs- Cobbwinkel und die Höhe des Scheitelwirbels bei Erstversorgung in Bezug zum Endbefund jeweils für thorakale und lumbale Primärkrümmungen analysiert.

Die Primärkorrektur im Korsett sollte nach Angaben einiger Autoren mindestens 30 – 50% betragen, um eine langfristige Krümmungsverbesserung zu erreichen (*Noonan et al. 1996, Landauer 2005, 2007*). Ein weiteres Ziel war somit zu überprüfen, inwieweit sich der Wert der Primärkorrektur zur Vorhersage des Therapieerfolges eignet.

Desweiteren ist die Rolle der Pelottenwirkung in Bezug auf den Scheitelwirbel bis zum heutigen Tag umstritten. Einige Autoren fordern eine Pelotte, welche bei aktiven

Orthesen unterhalb des Scheitelwirbels der Krümmung ansetzt (*Peterson und John 1984*). Andere Autoren legen die Höhe des Scheitelwirbels jedoch in Höhe des Rippenbuckels fest (*Chéneau 1997*). Ein oberhalb des Scheitelwirbels applizierter Druck im Verlauf der Scheitelrippe würde somit den Rippenbuckel nur verstärken und die Krümmung in die Konkavität hinein bringen. Deshalb sollte der Druck nach dessen Meinung in Höhe des Scheitelwirbels wirken und der Scheitelwirbel sich um eine Etage nach kranial verschieben. Das bedeutet, der nach kranial auf den bisherigen Scheitelwirbel folgende Wirbelkörper würde dadurch zum Scheitelwirbel. Diese unterschiedlichen Aussagen werfen einige Fragen auf. In dieser Arbeit soll geklärt werden, ob sich ein Angriff der Pelottenkorrekturkraft in gleicher Höhe oder unterhalb des Scheitelwirbels günstiger auf die Progredienz der Skoliose auswirkt.

Weiterhin ist von Interesse, ob eine Verschiebung des Scheitelwirbels nach kranial oder kaudal andere Ergebnisse im Vergleich zu gleichbleibenden Scheitelwirbeln erbringt.

Ebenfalls wird versucht zu ermitteln, wo der Pelottendruck, welcher über den Rippenbogen auf die thorakalen Wirbel fortgeleitet wird, angreifen muss, um eine optimale Umkrümmungswirkung zu erzielen.

Die Skelettstreife bei Korsettvorsorgung spielt hinsichtlich des Progredienzrisikos eine große Rolle. Einerseits ist ein Beginn bei jungen Patienten in einem niedrigen Risikostadium günstiger, da hier eine Wachstumslenkung in stärkerem Maße möglich ist. Andererseits ist aber auch das Risiko höher, bei schlechter Compliance, nicht optimal passendem Korsett oder schlechter Beweglichkeit mit rigiden Verhältnissen, eine Verschlechterung zu riskieren. Es soll also eine Antwort auf die Frage gefunden werden, ob ein Beginn in einem Risikostadium über 3 aufgrund der geringen Wachstumsreserve überhaupt sinnvoll ist.

In vielen Studien wird von einem Zusammenhang zwischen Cobb- Winkel und der Rotation ausgegangen. Ein guter Endbefund sollte auch eine Rotationsabnahme aufweisen (*Upadhyay et al. 1995, Peterson und Nachemson 1995*). Es ist für uns nun von Interesse, ob dieser Zusammenhang wirklich besteht und welchen Einfluß eine Rotationsveränderung auf den Endbefund nach abgeschlossener Korsetttherapie hat.

Eine gute aktive Aufrichtung und ein freies Bending werden als Voraussetzung für gute Endbefunde angesehen. Viele zusätzliche Faktoren, wie zum Beispiel das sagittale Profil mit Vorhandensein eines Flachrückens, die muskuläre Situation oder eine Anteflexionsstörung, werden für die Prognoseabschätzung herangezogen und als

negative Progredienzfaktoren verdächtigt. Dies soll anhand unserer Daten ebenfalls überprüft werden.

Abschließend wird die Winkelkorrektur während der Korsetttherapie in den verschiedenen Primärkrümmungen beurteilt. Es soll einmal ermittelt werden, ob diese sich während der Korsetttragedauer durch Gewöhnung an das Korsett oder Druckanpassung des Gewebes verbessern, also ob die Endkorrektur im Korsett besser ist als die Erstkorrektur, und des Weiteren, ob sich lumbale Winkel im Korsett über die Zeit besser halten lassen als thorakale Winkel.

Die Ergebnisse sollen allgemeingültige Aussagen für eine individuellere und effizientere Korsettbehandlung liefern und dem praktisch tätigen Orthopäden die Möglichkeit geben, den Patienten möglichst früh optimal – operativ oder konservativ – zu therapieren, um ihnen die Komplikationen einer voll ausgeprägten Skoliose zu ersparen. Weiterhin sollte versucht werden, erfolgversprechende Indikationen aufzuzeigen und den Blick des Behandlers für die Passform des Korsetts zu schärfen.

### **3. Patienten und Methodik**

#### **3.1 Patientenauswahl und Bedingungen**

Die verwendeten Daten der Krankenakten und Röntgenaufnahmen stammen ausschließlich von Patienten, die in den Jahren 1995 bis 2005 am Lehrstuhl für Orthopädie der FSU Jena in Eisenberg behandelt wurden. Die Kriterien für die Aufnahme in diese Studie waren durch eine idiopathische Skoliose, einen Ausgangswinkel bei der Erstuntersuchung ab 10 Grad nach Cobb, eine Korsettversorgung von mindestens 1,5 Jahren Dauer, eine Progredienz von mindestens 5° während des letzten Jahres vor Beginn der Korsettbehandlung und ein vorhandenes Wachstumspotential mit einem Risserstadium zwischen 0 und 3, definiert. Weiterhin sollte eine doppelbogige Skoliose, also eine Thorakolumbalskoliose mit entsprechend ausgeprägter Primärkrümmung, vorliegen. Im 10-jährigen Nachuntersuchungszeitraum (1995 – 2005) erfüllten 116 Patienten die Einschlusskriterien. Die Behandlung erfolgte mit dem Chêneau- Boston- Korsett, das in unserer orthopädischen Werkstatt individuell angepasst wurde. Das Korsett sollte für 23 h täglich getragen werden und nur zur Körperpflege, zu sportlichen Aktivitäten und zur Physiotherapie abgelegt werden. Begleitend erfolgten die Verordnung von Krankengymnastik sowie die Erlernung eines Heimübungsprogrammes, welches täglich durchgeführt werden sollte.

Bei jedem Patienten wurde eine Ausgangsbestimmung unmittelbar vor Korsettbehandlung durchgeführt und über mindestens 1,5 Jahre die Veränderungen verschiedener Messparameter im Verlauf dokumentiert. Nach Abschluss der Korsettbehandlung erfolgte die Messung des Endbefundes. Es wurden strenge Kriterien bezüglich des Therapieergebnisses angewandt. Als Therapieerfolg wurde gewertet, wenn der Endbefund den Ausgangs- Cobbwinkel um nicht mehr als 5° überschritt. Eine Progredienz von über 5° Cobbwinkel nach Korsetttherapie wurde als Therapieversager gewertet.

Von den 116 Patienten wiesen 55 eine thorakale Primärkrümmung und 61 eine lumbale Primärkrümmung auf. Anhand der Primärkrümmung wurden die Patienten in 2 Gruppen unterteilt. In der 1. Gruppe befinden sich die Patienten mit lumbaler Primärkrümmung oder Skoliosetyp 1 nach King, in die 2. Gruppe sind solche mit

thorakaler Primärkrümmung oder Skoliosetyp 2 nach King eingeteilt. Dabei zeigte der Skoliosewinkel der jeweiligen Primärkrümmung eine Progredienz während des letzten Jahres vor Korsettbehandlung mit einer Zunahme des Skoliosewinkels von mindestens 5° nach Cobb.

### 3.2 klinische Datengewinnung

Als Quelle für die Erfassung der klinischen Daten der Skoliosepatienten wurden die Akten und die elektronisch gespeicherten Daten der orthopädischen Klinik der FSU Jena in Eisenberg herangezogen. Diese beruhen auf ambulanten Vorstellungen mit der Dokumentation des klinischen Status und stationären Aufhalten zur Korsettanpassung mit begleitender intensiver krankengymnastischer Behandlung zur Korsetteingewöhnung oder bei Korsettwechsel.

Es wurden zu jedem Patienten vor Korsetttherapie das Alter bei Erstversorgung mit Korsett, die Größe und das Gewicht sowie die Familienanamnese ermittelt.

Die Analyse des klinischen Erscheinungsbildes der idiopathischen Skoliose beinhaltet die Beurteilung der beteiligten Wirbelsäulenabschnitte in allen 3 Raumebenen.

In der Frontalebene sind Schulter- und Beckenstellung, die Krümmungslinie der Dornfortsätze, Asymmetrien der Taillendreiecke sowie ein vorhandener Rumpfüberhang von Interesse. Bei cervicalen oder hochthorakalen Skoliosen ist das Niveau beider Schultern verändert, bei thorakolumbalen oder lumbalen Skoliosen besteht ein Unterschied in den Taillendreiecken. Der Verlauf der Dornfortsätze zeigt die Seitverbiegung an. Die Abweichung des Lots von der Linie des Dornfortsatzes des 7. Halswirbelkörpers bezogen auf die Rima ani wird als Rumpfüberhang bezeichnet. Differenzen von weniger als 5 mm wurden nicht gewertet, weil hier Haltungseinflüsse überwiegen dürften.

In der Sagittalebene wurden Abweichungen vom typischen Wirbelsäulenprofil, wie Abflachung oder Lordosierung der thorakalen Kyphose sowie eine Entlordosierung oder Kyphosierung der Lendenwirbelsäule untersucht.

In der Transversalebene wurde die Stärke des Rippenbuckels bzw. Lendenwulstes als klinisches Korrelat für die Torsion der Wirbelkörper gemessen. Der Rippenbuckel entsteht durch die anatomische Verbindung von Rippen und Wirbelsäule. Die Rotation der Wirbelsäule und die Torsion der Wirbelkörper verursacht diese Deformierung des Rumpfes, welche sich bei Vornüberneigung verstärkt (Abb. 7a + b).

Zur Beurteilung der Mobilität der Verkrümmung wurden das Bewegungsausmaß und das klinische Bending ermittelt. Der Begriff „Bending“ ist durch die aktive Korrigierbarkeit der Skoliose durch Umkrümmung definiert. Durch die Bestimmung der aktiven Aufrichtung des Rückens wurde die muskuläre Situation festgestellt

### 3.3 radiologische Datengewinnung

Durch die Röntgenaufnahme der gesamten Brust- und Lendenwirbelsäule, welche derzeit als Standardmethode der Diagnosesicherung gilt, lassen sich Form und Ausmaß der Skoliose beurteilen. Es wurde eine p.-a. Röntgenaufnahme der gesamten Wirbelsäule als Ausgangspunkt vor Korsettbehandlung für jeden Patienten zu Grunde gelegt. Die p.-a. Aufnahme wurde gewählt, da sich die Strahlendosis der Mammae und des Thymus so um 90 % reduzieren lässt. Die Aufnahmen wurden im Stehen in Neutralposition gefertigt. Eine bestehende Beinlängendifferenz wurde durch entsprechende Brettchenunterlagen ausgeglichen. Die Kinder standen mit der Brust zur Filmfolie im sagittalen Strahlengang. Diese Standardeinstellungen wurden ebenfalls bei angepasstem Korsett angewandt. Es erfolgte zu jedem Patienten eine chronologische Auswertung aller Wirbelsäulenaufnahmen im Korsett über die gesamte Dauer der Korsettbehandlung. Dabei wurden die Pelotten im Korsett durch einen Draht oder Metallstreifen am Pelottenrand markiert, sodass eine mögliche Pelottenfehlage erkannt und korrigiert werden konnte. Abschließend wurde eine Röntgenaufnahme der Wirbelsäule nach Abtrainieren des Korsetts und Behandlungsabschluß angefertigt. Zur Beurteilung des Korrekturverlustes nach Abtrainieren des Korsettes wurden bei einigen Patienten radiologische Kontrollen 1-2 Jahre nach Korsettabnahme angefertigt und ausgewertet.

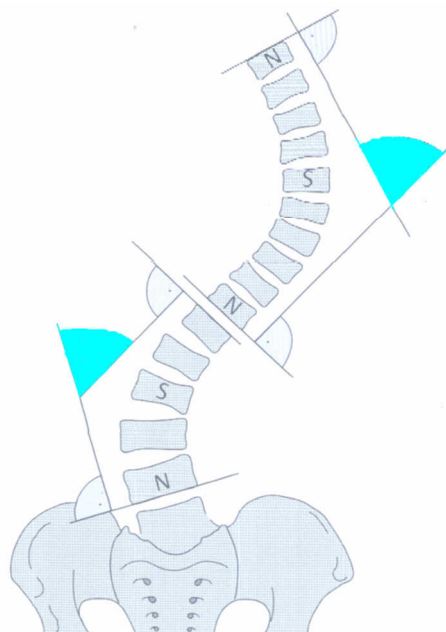
Um die maximal mögliche Korrektur der jeweiligen Skoliose vor Behandlungsbeginn festzustellen, wurden Röntgenaufnahmen im Liegen in maximaler Seitneige des Rumpfes, sogenannte Bendingaufnahmen, angefertigt. Durch die Neigung nach rechts wird die rechtskonvexe, durch die Neigung nach links die linkskonvexe Seitenausbiegung so weit wie möglich korrigiert. Dadurch gelingt zusätzlich eine Differenzierung zwischen Primär- und Sekundärkrümmung, falls die Einteilung nach der p.-a. Aufnahme bei annähernd gleichen Winkeln der Primär- und Sekundärkrümmung nicht eindeutig möglich war. Hierbei zeigt die Hauptkrümmung in funktionell endgradiger Einstellung zur Konvexseite aufgrund ihrer stärkeren



strukturellen Fixierung eine geringgradigere Aufrichtbarkeit als die weniger fixierten Nebenkrümmungen.

Die Auswertung begann mit der Festlegung der Ausdehnung einer Krümmung durch die Bestimmung der Neutralwirbel. Neutralwirbel zeigen die geringste Rotation und weisen die stärkste Kippstellung gegenüber der Horizontalen auf (Götze 1990, Kim et al. 2009). Sie bilden sich auf dem Röntgenbild mit symmetrischen Pedikeln ab, befinden sich jeweils am kranialen und kaudalen Ende einer Krümmung und liegen nahe der Körpermitte. An Neutralwirbeln vollführt die Krümmung einen Richtungswechsel. Als Scheitelwirbel wird der am stärksten von der Körpersenkrechten verschobene Wirbelkörper der Krümmung zwischen zwei entgegengesetzt gekippten Wirbelkörpern bezeichnet. Er liegt im Zentrum der Krümmung und weist das höchste Maß an Rotation auf, wobei die Dornfortsatzreihe zur Konkavseite rotiert ist.

Das Ausmaß der Primär- und Sekundärkrümmung wird durch die Messung des Winkels nach COBB bestimmt (Cobb 1948). Dazu sucht man die jeweiligen Neutralwirbel, die den Übergang von der Konvexität in die Konkavität markieren, und bestimmt den Winkel zwischen der Deckplatte des oberen und der Grundplatte des unteren Neutralwirbels (Abb. 11). Bei annähernd gleichen Cobb- Winkeln erkennt man die Primärkrümmung an der stärkeren Rotation des Scheitelwirbels und der rigideren Krümmung im Bending.



N = Neutralwirbel

S = Scheitelwirbel

Abb. 11: Bestimmung des Skoliosewinkels nach Cobb ( modifiziert aus Backup, 2001).

Die Rotation des Scheitelwirbels wurde nach der Methode von NASH und MOE mit einer Einteilung in 4 Schweregrade bestimmt (Nash und Moe 1969). Hierbei wird die Projektion der Bogenwurzeln in Relation zum Wirbelkörper gesetzt. Der Schweregrad der Rotation entspricht der Lage der konvexen Bogenwurzel, diese wandert mit zunehmender Rotation nach medial. Zur Bestimmung der Rotation wird der Scheitelwirbel in 6 Teile aufgeteilt, wobei ein Teil ca. 15° Rotation ausmacht (Abb. 12).

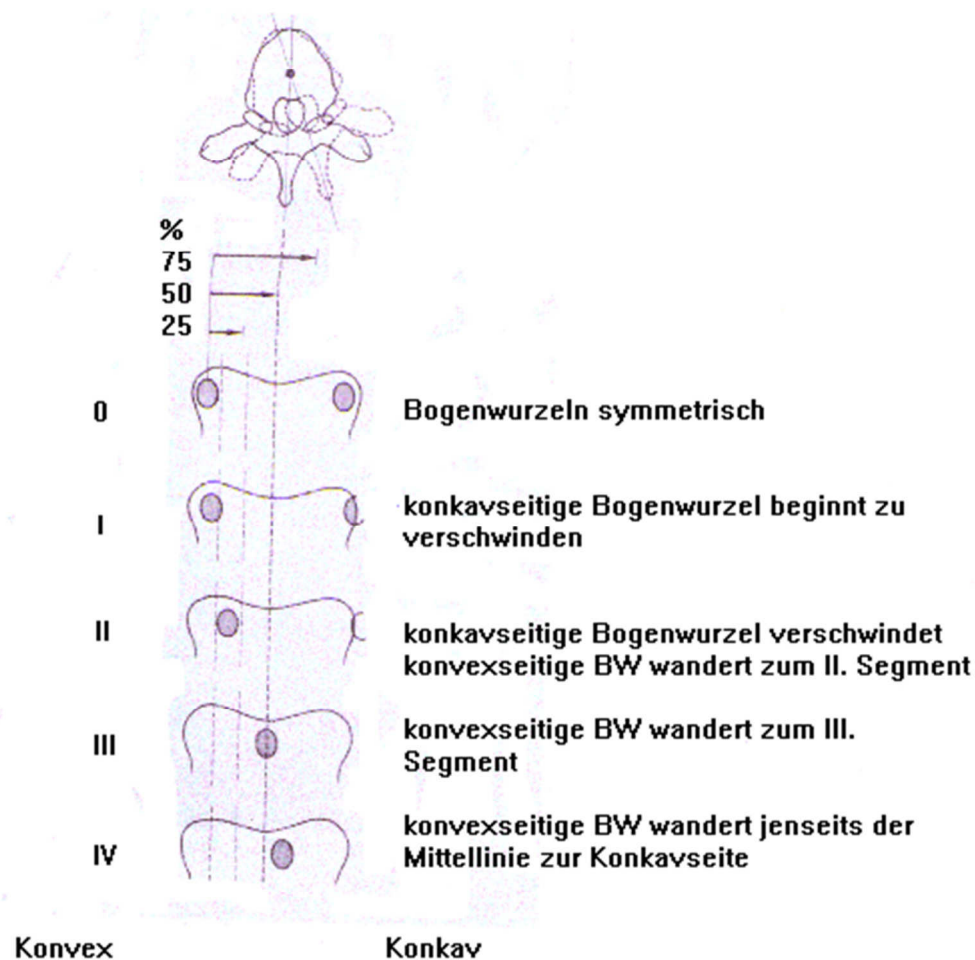


Abb. 12: Bestimmung des Rotationsgrades nach Nash und Moe (modifiziert nach Petersen und John, 1984)

Eine vorhandene Lotabweichung als Ausdruck des Rumpfüberhanges wurde anhand eines vom Dornfortsatz C7 gefällten Lotes und der Abweichung vom Dornfortsatz S1 in Zentimetern erfasst.

Die Seitenaufnahme der Wirbelsäule ist wichtig zur Beurteilung der sagittalen Balance, also dem Ausmaß der thorakalen Kyphose sowie der lumbalen Lordose und deren Auswirkungen auf die Progredienz (*Kim et al. 2009*).

Zur Beurteilung des noch vorhandenen Wachstumspotentials und des damit verbundenen Progredienzrisikos wurde der Grad der Skelettreife nach RISSER bestimmt. Das Skelettalter wird in 5 Reifestadien unterteilt. Die Ossifikation der Darmbeinkammapophyse schreitet von anterolateral nach dorsomedial fort (*Risser 1958*). Das Risserstadium 1 fällt bei Mädchen zeitlich etwa mit der Menarche zusammen, was den Höhepunkt des pubertären Wachstumsschubes darstellt. Von da an bis zum Ende des Wachstumsschubes im Stadium 4 vergehen 2 Jahre, in denen mit der stärksten Progredienz der Skoliose zu rechnen ist (*Dimeglio 2001; Tanner et al. 1966*). Bis zur definitiven Verknöcherung im Stadium 5 findet nur noch ein minimales Wachstum statt (Abb. 13).

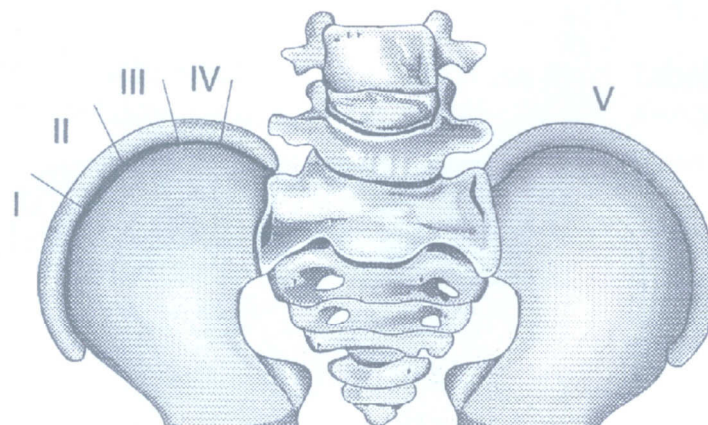


Abb. 13: Bestimmung des Risser-Stadiums (modifiziert aus Castro/Jerosch, 1996)

Alle Patienten zeichneten sich durch eine unvollständige Skelettreife mit einer noch vorhandenen Wachstumsreserve und einer Korsettbehandlung von mindestens 1,5 Jahren Dauer aus. Dabei konnten 101 Patienten mit einem Risserstadium zwischen 0 und 3 ermittelt werden. 15 Patienten wiesen zu Behandlungsbeginn bereits ein Risserstadium von 4 auf, wurden jedoch in der Studie belassen, um den Nutzen und die Effektivität des Korsetts bei fortgeschrittener Skelettreife zu beurteilen.

Zur weiteren Diagnostik wurden Bendingaufnahmen ausgewertet, indem die jeweils in maximaler Seitneige korrigierte Krümmung durch Bestimmung des Cobb-Winkels gemessen wurde. Sie dienen der Beurteilung struktureller und flexibler Komponenten der Skoliose.

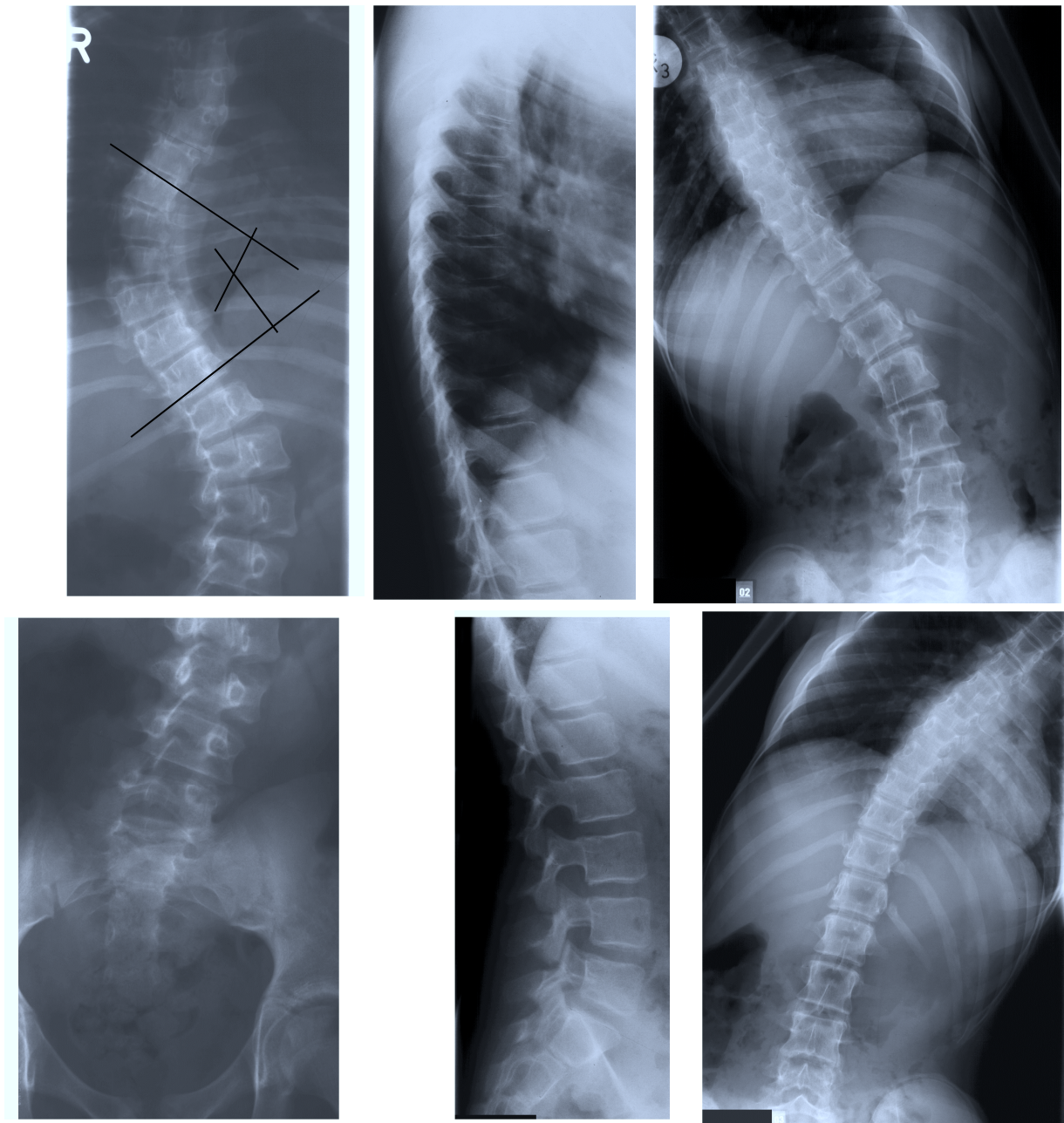


Abb. 14: Wirbelsäulenganzaufnahmen ap. und seitlich, Bendingaufnahmen



Nach Anpassung des Korsetts erfolgten regelmäßige röntgenologische Kontrollen mit angelegtem Korsett (Abb. 15 a und 15 b). In jedem Bild wurden der Cobb-Winkel der Haupt- und Nebenkrümmung, die Höhe der Scheitelwirbel und deren Rotation bestimmt.

Weiterhin wurde die Lage der Pelotten in Projektion auf den horizontal dazu gelegenen Wirbelkörper erfasst und der Wirbelkörper bestimmt, auf welchen die Kraft von der Pelotte an der lateralen Thoraxwand, dem Rippenverlauf folgend, fortgeleitet wird. Ebenfalls wurden das Lot sowie das Risserstadium ermittelt.



Abb. 15 a: Wirbelsäulenganzaufnahme im Stehen mit Rasterlot und Beckenkämmen im Korsett (negatives Beispiel)

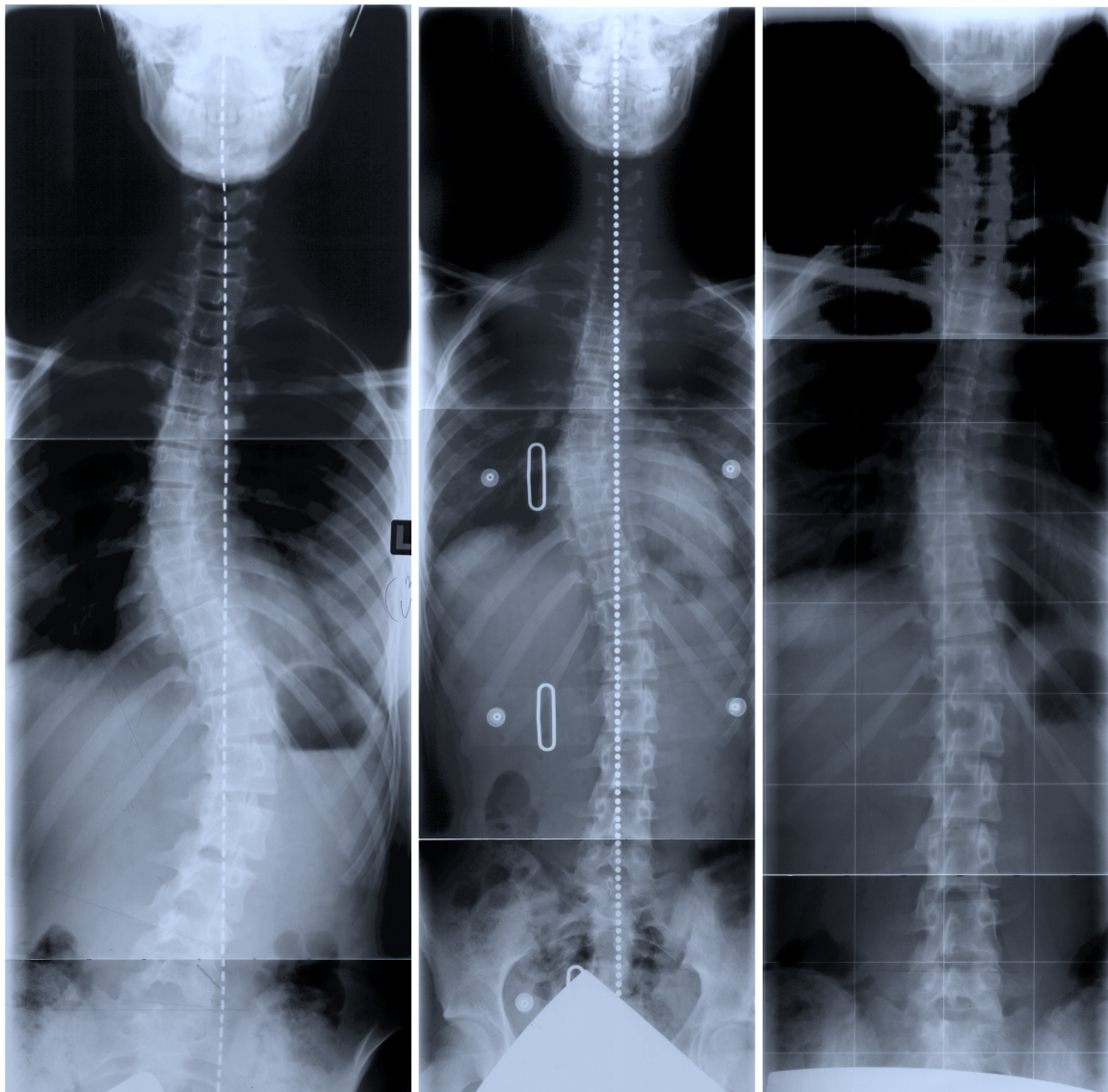


Abb. 15 b: radiologische Serie: Ausgangssituation, mit angepasstem Korsett und nach Korsetttherapie (positives Beispiel)

### 3.4 Auswertungsverfahren

Die gewonnenen Daten wurden für jeden Patienten in Excel- Dateien übertragen und tabellarisiert. Anschließend wurden die Dateien entsprechend den Hauptkrümmungen in 2 Gruppen unterteilt. Dadurch wurde der Vergleich der Werte beider Hauptkrümmungen ermöglicht.

Um eine statistische Auswertung der Daten zu erhalten, war es notwendig alle Excel- Dateien in das Statistikprogramm SPSS zu übertragen. Das Statistikprogramm wurde auch zur Erstellung von Diagrammen verwendet.

### 3.5 Statistik

Nach einer Konsultation des Instituts für medizinische Statistik der FSU Jena wurde die statistische Auswertung des Datenmaterials mittels U-Test nach Mann und Whitney empfohlen. Dies ist ein nichtparametrischer Test für zwei unverbundene Stichproben und wird angewandt, wenn eine Normalverteilung der Daten nicht gewährleistet werden kann. Es wird lediglich vorausgesetzt, dass beide Verteilungen annähernd die gleiche Form aufweisen. Er kann ebenfalls angewendet werden, wenn kein Intervall- sondern nur Ordinalskalenniveau gegeben ist.

Nach Prüfung auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov- Smirnov- Test finden sich für die verschiedenen Variablen unterschiedliche Ergebnisse. Liegt keine Normalverteilung vor wurden die entsprechenden Mediane angegeben und diese durch einen nichtparametrischer Test miteinander verglichen.

Liegt eine Normalverteilung vor wurden die entsprechenden Mittelwerte angegeben und die Gruppenmittelwerte durch eine einfaktorielle Varianzanalyse miteinander verglichen. Zur grafischen Darstellung wurden Boxplots und Balkendiagramme erstellt. Die Zusammenhänge zwischen 2 Variablen wurden mit der Korrelationsanalyse ermittelt. Hierbei wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt. Anschließend wurde die Art des Zusammenhanges mittels linearer Regressionsanalyse ermittelt. Zur grafischen Darstellung wurden Streudiagramme mit den entsprechenden Regressionsgeraden erstellt.

Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  festgelegt.

## 4. Ergebnisse

Grundlage der Ergebnisdarstellung ist die Definition des Endbefund- Begriffs. Als Therapieerfolg (guter Endbefund) wurde gewertet, wenn der Endbefund den Ausgangs- Cobb- Winkel um nicht mehr als 5° überschritt. Eine Progredienz von über 5° Cobb- Winkel nach Korsetttherapie wurde als Therapieversager gewertet (schlechter Endbefund).

### 4.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede

Es wurden 116 Patienten mit einer idiopathischen Skoliose ausgewertet, darunter 105 Mädchen und 11 Jungen. Das Geschlechtsverhältnis Mädchen zu Jungen betrug in unserem Krankengut 10,5 : 1. Zum Zeitpunkt der Diagnosestellung ist der durchschnittliche Cobb- Winkel der thorakalen Primärkrümmungen bei den Jungen mit 29° etwas höher als bei den Mädchen mit 27,3°. Bei den lumbalen Primärkrümmungen verhält es sich umgekehrt. Hier ist der durchschnittliche Cobb- Winkel bei den Jungen mit 23,6° etwas geringer als bei den Mädchen mit 25,3°. Nach Korsetttherapie finden sich gleichartige geschlechtsspezifische Unterschiede. Der durchschnittliche Cobb- Winkel der thorakalen Primärkrümmungen nach Korsettbehandlung ist bei den Jungen mit 42,3° höher als bei den Mädchen mit 29,6°. Bei den lumbalen Primärkrümmungen beträgt der durchschnittliche Cobb- Winkel bei Jungen 21,6° und ist geringer als bei den Mädchen mit 23,8°. Vergleicht man beide Geschlechter hinsichtlich des Endbefundes miteinander, finden sich signifikant bessere Endbefunde bei den Mädchen (87:18) als bei den Jungen (5:6) ( $p=0,004^{**}$ ).

### 4.2 Alter bei Korsett- Erstversorgung

Das Durchschnittsalter der Patienten bei der Erstversorgung der Skoliose betrug 13,4 Jahre und liegt damit in der Phase des pubertären Wachstumsschubes. Zwischen dem 13. und 15. Lebensjahr wurden die häufigsten Erstdiagnosen gestellt. Die früheste Erstdiagnose erfolgte im 5. Lebensjahr (LJ), die Späteste im 17. LJ. Die Werte entsprechen jedoch keiner Normalverteilung (Abb. 16).



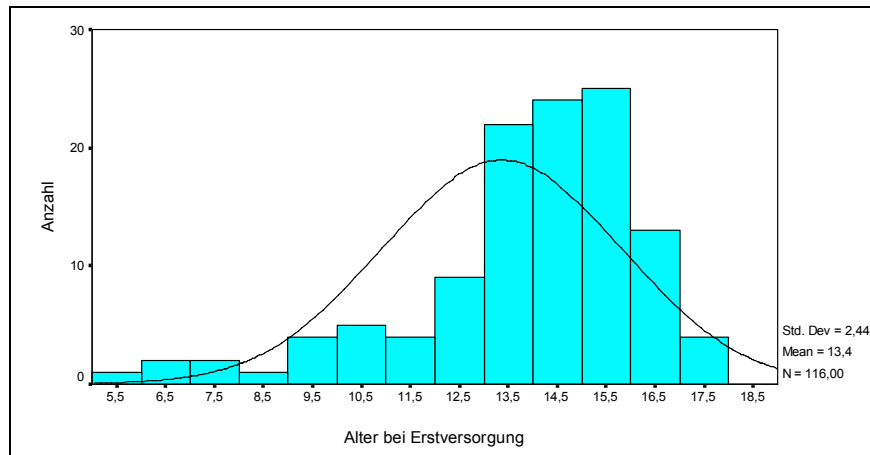


Abb. 16: Histogramm mit Normalverteilungskurve: Alter der Patienten bei Erstversorgung der Skoliose

Lumbale Primärkrümmungen weisen im Durchschnitt ein signifikant höheres Alter bei Korsetterstversorgung auf als thorakale Primärkrümmungen (Median: King 1 =14; King 2 =13) ( $p=0,007^{**}$ ). Die untere Altersgrenze bei Korsetterstversorgung ist bei den thorakalen Primärkrümmungen mit dem 9. LJ niedriger als bei den lumbalen (11. LJ).

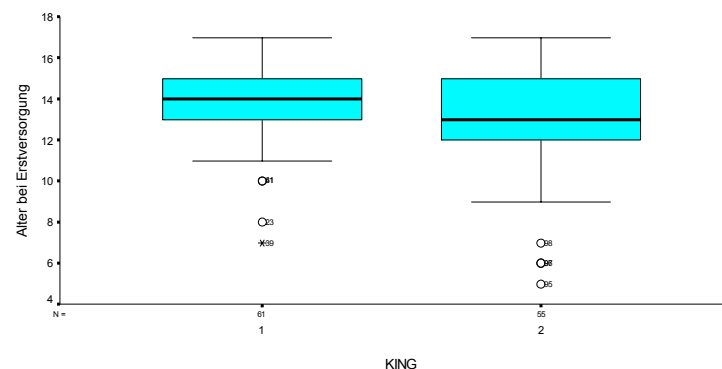


Abb. 17: Boxplot: Unterschiede im Alter bei Korsetterstversorgung bezüglich lumbaler und thorakaler Primärkrümmungen

#### 4.2.1 Einfluss des Alters bei Korsett- Erstversorgung auf den Endbefund lumbaler Primärkrümmungen (King 1)

Im Vergleich der Gruppen mit gutem und schlechtem Endbefund haben Patienten mit einem Korsett- Erstversorgungsalter (EVA) über dem 13. LJ signifikant bessere Endbefunde als bei Korsett- Erstversorgung unter dem 13. LJ ( $p=0,012^{*}$ ).

Bei einem Korsett- EVA über dem 13. LJ finden sich bei einer fast 5-fach größeren Patientenanzahl (50:11) nur zwei schlechte Endbefunde gegenüber 3 schlechten

Endbefunden bei einem Korsett- EVA unter dem 13. LJ. Liegt das Korsett- EVA unter dem 13. LJ zeigen sich zu 27% schlechte und zu 73% gute Endbefunde gegenüber 4% schlechten und 96% guten Endbefunden bei Korsett- Erstversorgung über dem 13. LJ.

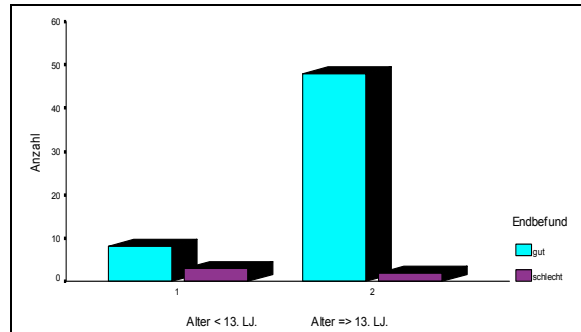


Abb. 18: Anzahl der Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei Korsett- Erstversorgung vor und nach dem 13. Lebensjahr

#### 4.2.2 Einfluss des Alters bei Korsett- Erstversorgung auf den Endbefund thorakaler Primärkrümmungen (King 2)

Im Vergleich der Gruppen mit gutem und schlechtem Endbefund haben Patienten mit Korsett- Erstversorgungsalter über dem 11. LJ signifikant bessere Endbefunde als bei Korsett- Erstversorgung vor dem 11. LJ ( $p < 0,001^{***}$ ).

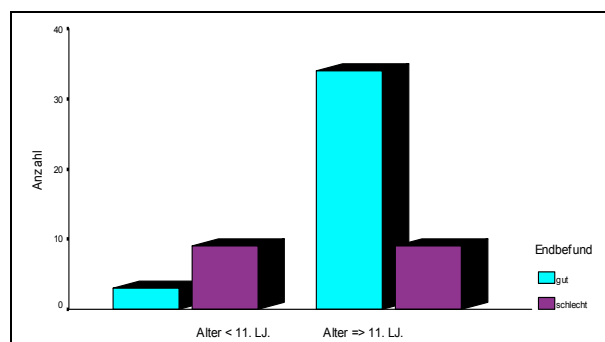


Abb. 19: Anzahl der Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei Korsett- Erstversorgung vor und nach dem 11. Lebensjahr

Bei einem Korsett- EVA über dem 11. LJ finden sich bei einer etwa 3,5- fach so großen Patientenanzahl (43:12) im Vergleich zu einem Korsett- EVA unter dem 11. LJ jeweils neun schlechte Endbefunde in beiden Gruppen. Liegt das Korsett- EVA unter dem 11. LJ zeigen sich zu 75 % schlechte Endbefunde gegenüber 21 % bei Korsett- EVA über dem 11. LJ.

#### 4.3 Alter bei Korsettabnahme

Die durchschnittliche Korsettragedauer betrug 3,5 Jahre. Das Durchschnittsalter der Patienten bei der Korsettabnahme betrug 16,8 Jahre. Zwischen dem 17. und 19. LJ (entsprechend Risser 5) wurden die meisten Korsetttherapien beendet. Die früheste Korsettabnahme erfolgte im 12. LJ, die späteste im 21. LJ.

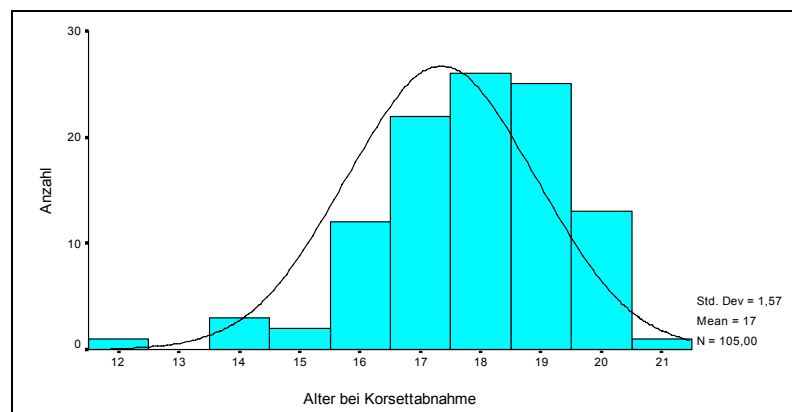


Abb. 20: Histogramm mit Normalverteilungskurve: Alter der Patienten bei Korsettabnahme

Lumbale Primärkrümmungen weisen im Durchschnitt kein signifikant höheres Alter bei Korsettabnahme auf als thorakale Primärkrümmungen. (Median: King 1 + 2 =17) ( $p=0,964ns$ ) Die obere Altersgrenze bei Korsettabnahme ist jedoch bei den thorakalen Primärkrümmungen mit dem 20. LJ höher als bei den lumbalen (19. LJ).

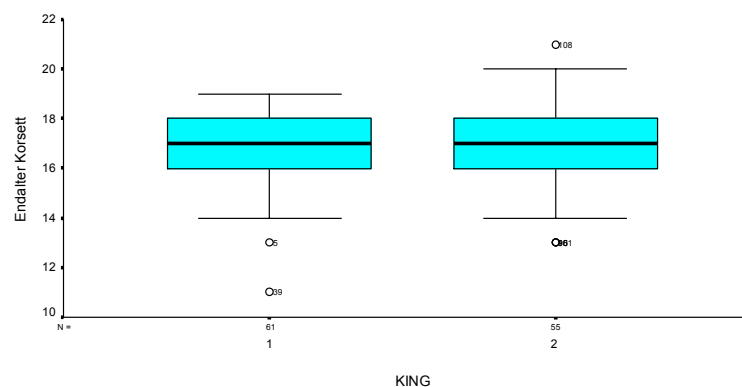


Abb. 21: Boxplot: Unterschiede im Alter der Korsettabnahme bezüglich lumbaler und thorakaler Primärkrümmungen

#### 4.3.1 Einfluss des Alters bei Korsettabnahme auf den Endbefund lumbaler Primärkrümmungen (King 1)

Im Vergleich der Gruppen mit gutem und schlechtem Endbefund haben Patienten mit einem Alter bei Korsettabnahme über dem 17. LJ signifikant bessere Endbefunde als bei Korsettabnahme vor dem 17. LJ ( $p = 0,043^*$ ).

Bei einer Korsetttragedauer über das 17. LJ hinaus finden sich 37 gute und ein schlechter Endbefund bei lumbalen Primärkrümmungen. Dagegen finden sich jedoch bei 23 Patienten mit einer Beendigung der Korsetttherapie vor dem 17. LJ 4 schlechte und 19 gute Endbefunde. Eine Korsetttherapie über das 17. LJ hinaus erbringt bei lumbalen Primärkrümmungen zu 97 % gute Ergebnisse im Vergleich zu 82 % bei Abschluss der Korsetttherapie vor dem 17. LJ.

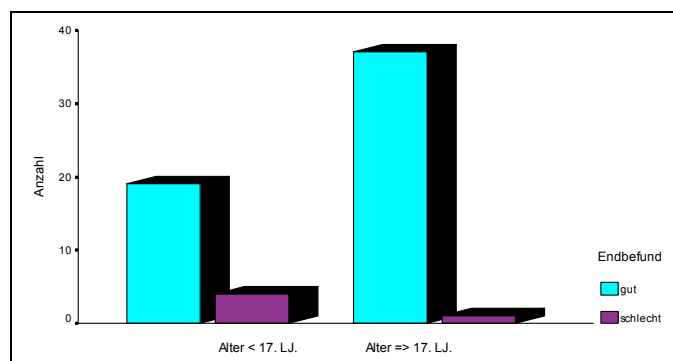


Abb. 22: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei Beendigung der Korsetttherapie vor und nach dem 17. Lebensjahr

#### 4.3.2 Einfluss des Alters bei Korsettabnahme auf den Endbefund thorakaler Primärkrümmungen (King 2)

Im Vergleich der Gruppen mit gutem und schlechtem Endbefund haben Patienten mit einem Alter bei Korsettabnahme über dem 16. LJ hochsignifikant bessere Endbefunde als bei Korsettabnahme vor dem 16. LJ ( $p = 0,002^{**}$ ).

Bei einer Korsetttragedauer über das 16. LJ hinaus finden sich bei einer um etwa ein Drittel größeren Patientenzahl (32:23) nur 5 schlechte Endbefunde gegenüber 13 schlechten Endbefunden bei einer Beendigung der Korsetttherapie vor dem 16. LJ. Eine Korsetttherapie über das 16. LJ hinaus erbringt bei thorakalen Primärkrümmungen zu 84 % gute Endbefunde im Vergleich zu 44 % bei Beendigung der Korsetttherapie vor dem 16. LJ (Abb. 23).

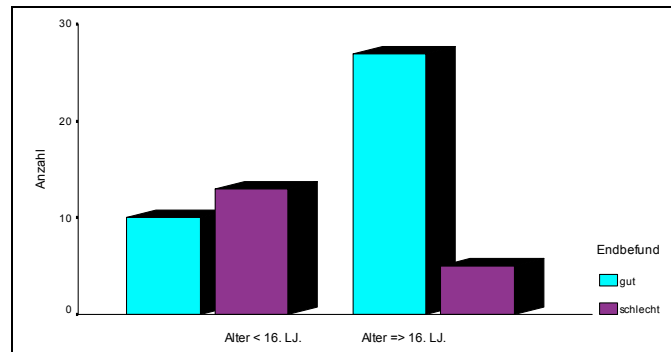


Abb. 23: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei Beendigung der Korsetttherapie vor und nach dem 16. Lebensjahr

#### 4.4 Höhe des Ausgangs- Cobbwinkels bei Erstversorgung

Patienten mit thorakaler Hauptkrümmung wiesen einen durchschnittlichen Ausgangsskoliosewinkel von  $27,5^\circ$  und Patienten mit lumbaler Hauptkrümmung einen Winkel von  $24,7^\circ$  auf. Die Verteilung der Patienten nach dem Wert des Skoliosewinkels zu Beginn der Korsettversorgung mit einem Gipfel bei Werten zwischen  $26^\circ$  und  $30^\circ$  bei thorakalen Primärkrümmungen und zwischen  $21^\circ$  und  $25^\circ$  bei lumbalen Primärkrümmungen entspricht einer Normalverteilungskurve (Abb. 24). Im Bereich der Maximalwerte liegen auch die Mittelwerte der Skoliosewinkel beider Primärkrümmungen.

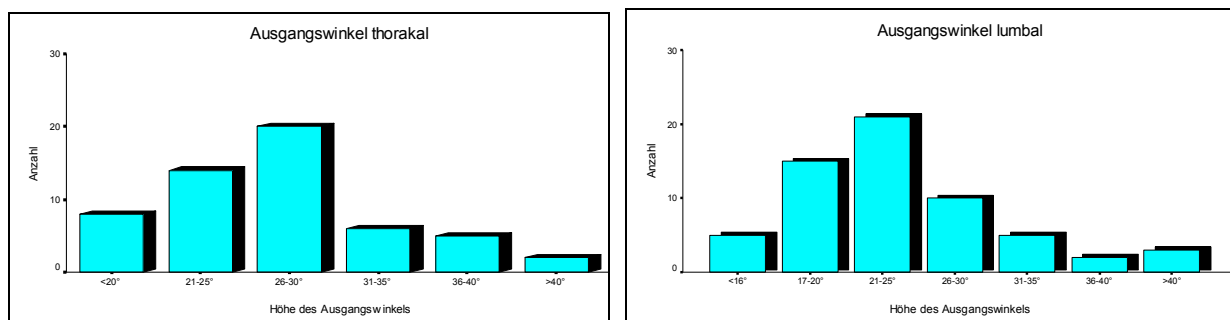


Abb. 24: Verteilung der Ausgangswinkel vor Korsettbehandlung in beiden Primärkrümmungen

Mittlere Ausgangswinkel	King 1	King 2
thorakal	$16,7^\circ$	$27,5^\circ$
lumbal	$24,7^\circ$	$20^\circ$

Tab. 4: durchschnittl. Ausgangswinkel der Primär/Sekundärkrümmung bei King 1+2 Skoliosen

Der Mittelwert der Sekundärkrümmung (thorakaler Ausgangswinkel) von King 1- Skoliosen beträgt 16,7 und unterscheidet sich hochsignifikant vom Mittelwert des thorakalen Ausgangswinkels von King 2- Skoliosen (27,5) ( $p < 0,001^{***}$ ).

Respektive unterscheidet sich der Median des lumbalen Ausgangswinkels von King 1- Skoliosen mit 24 hochsignifikant vom Median der Sekundärkrümmung (lumbaler Ausgangswinkel) von King 2- Skoliosen (20) ( $p < 0,001^{***}$ ).

King 1- Skoliosen haben mit einem Median von 24 signifikant geringere Ausgangswinkel der Primärkrümmung als King 2- Skoliosen (28) ( $p = 0,013^*$ ).

Bezüglich der Höhe des Ausgangswinkels der Sekundärkrümmung haben King 1- Skoliosen ebenfalls einen signifikant niedrigeren Median (16) als King 2- Skoliosen (20) ( $p = 0,007^{**}$ ) (Abb. 25).

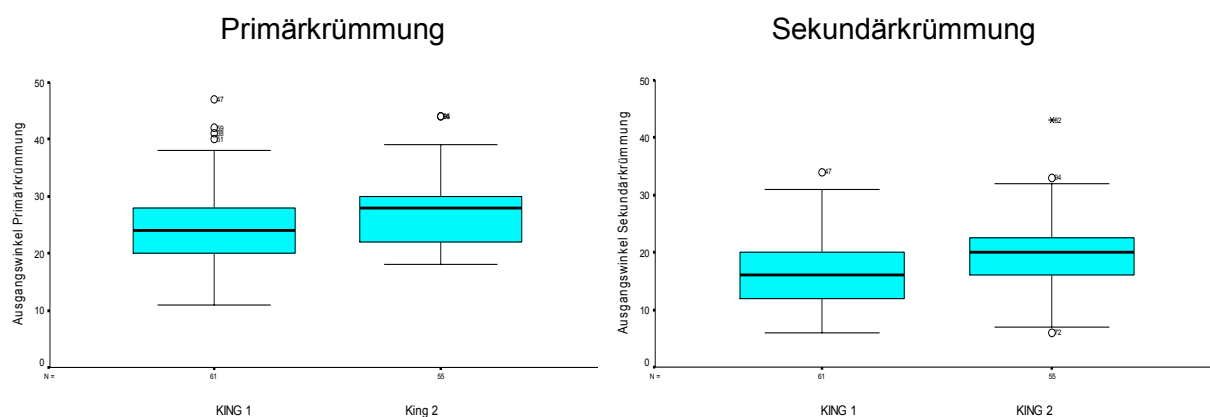


Abb. 25: Boxplot: Unterschiede der Höhe des Ausgangswinkels der beiden Primär- und Sekundärkrümmungen

#### 4.4.1 Einfluss der Höhe des Ausgangs- Cobbwinkel bei Erstversorgung auf den Endbefund lumbaler Primärkrümmungen (King 1)

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einem Ausgangs- Cobbwinkel (CW) bei Korsettherstversorgung von über 20° signifikant bessere Endbefunde als bei einem Ausgangs- CW von unter 20° ( $p = 0,019^*$ ).

Bei einem Ausgangs- CW von über 20° finden sich bei einer 4- fach höheren Patientenanzahl (49:12) nur 2 schlechte Endbefunde gegenüber 3 schlechten von insgesamt 12 Endbefunden bei einem Ausgangs- CW von unter 20°. Liegt der Ausgangs- CW vor Korsettherstversorgung über 20° zeigen sich zu 96% gute

Endbefunde gegenüber 25% schlechten Endbefunden bei einem Ausgangs- CW von unter 20°.

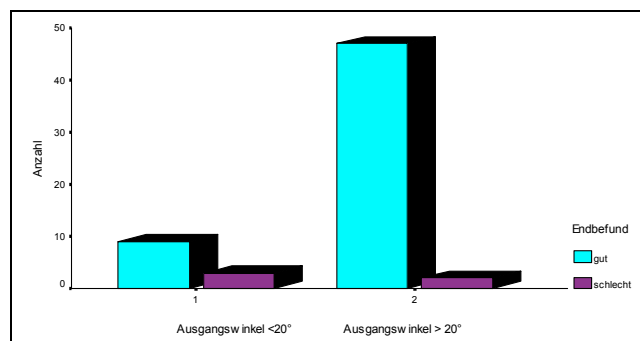


Abb. 26: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei einem Ausgangs-Cobbwinkel bei Korsettherapie von unter und über 20°

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Höhe des Ausgangswinkels lumbaler Primärkrümmungen und der absoluten Winkeländerung nach Korsetttherapie zeigt sich eine lineare gegenläufige Korrelation geringen Ausmaßes (Spearman-Koeffizient: -0,382) ( $p=0,002^{**}$ ). Bei einem niedrigeren lumbalen Ausgangswinkel kommt es bis zum Abschluss der Korsetttherapie zu einer geringeren Verbesserung als bei größeren Ausgangswinkeln (Abb. 27).

Bei den thorakalen Sekundärkrümmungen zeichnet sich ein ähnlicher Effekt ab, welcher jedoch statistisch nicht signifikant ist ( $p=0,087$ ). Ein Trend zeigt zu 90% gute Endbefunde bei einem Ausgangs- CW von über 15° (35:4) und zu 27% schlechte Endbefunde bei einem Ausgangs- CW unter 15° (16:6).

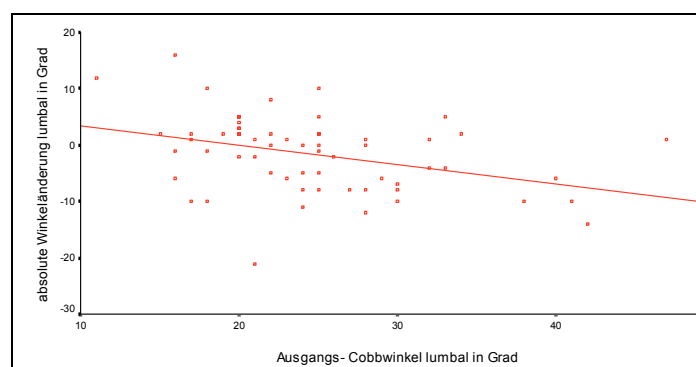


Abb. 27: Streudiagramm mit Regressionsgerade – Zusammenhang zwischen lumbalem Ausgangswinkel und der Winkeländerung nach Korsetttherapie

#### 4.4.2 Einfluss der Höhe des Ausgangs- Cobbwinkel bei Erstversorgung auf den Endbefund thorakaler Primärkrümmungen (King 2)

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden zeigt sich bei einer Gesamtanzahl von 55 Patienten mit thorakaler Primärkrümmung bezüglich der Höhe des Ausgangs- Cobbwinkels (CW) bei Korsetterstversorgung kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,642\text{ns}$ ).

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Höhe des Ausgangswinkels thorakaler Primärkrümmungen und der absoluten Winkeländerung nach Korsetttherapie findet man eine unspezifische Verteilung mit sehr geringer Korrelation (Spearman- Koeffizient: 0,146) ( $p = 0,287\text{ns}$ ).

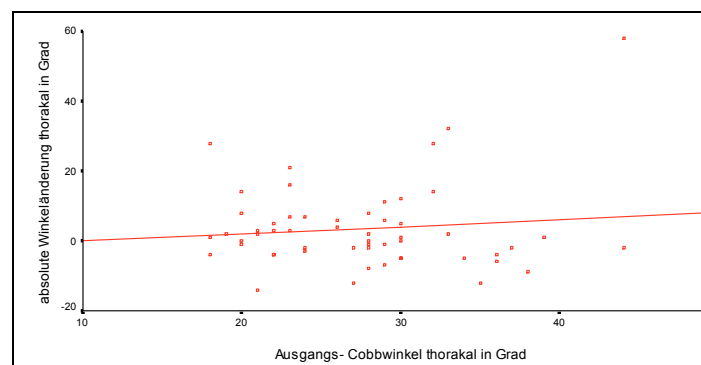


Abb. 28: Streudiagramm mit Regressionsgerade – Zusammenhang zwischen thorakalem Ausgangswinkel und der Winkeländerung nach Korsetttherapie

Bei den lumbalen Sekundärkrümmungen haben Patienten mit einem Ausgangs- CW bei Korsetterstversorgung von über  $15^\circ$  signifikant bessere Endbefunde als bei Ausgangswinkeln unter  $15^\circ$  ( $p = 0,001^{***}$ ).

Bei lumbalen Sekundärkrümmungen zeigen sich für Ausgangs- CW über  $15^\circ$  bei einer 3- fach höheren Patientenanzahl (36:13) nur 6 schlechte Endbefunde gegenüber 8 schlechten Endbefunden bei einem Ausgangs- CW von unter  $15^\circ$ . Es zeigen sich also bei einem Ausgangs- CW von über  $15^\circ$  zu 86 % gute Endbefunde, dagegen bei einem Ausgangs- CW von unter  $15^\circ$  zu 62 % eine Befundverschlechterung nach Korsetttherapie (Abb. 29).



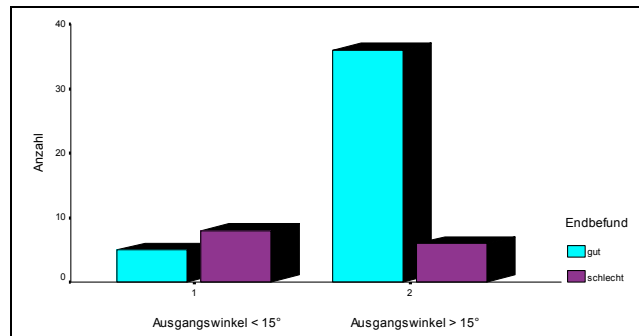


Abb. 29: Anzahl der Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei einem Ausgangs-Cobbwinkel von unter und über 15° (Sekundärkrümmung, King 1)

#### 4.5 Höhe des Scheitelwirbels bei der Erstdiagnose

Die Lage des jeweiligen Krümmungsscheitels der Primärkrümmung vor Korsettversorgung zeigt ein Überwiegen der thorakalen Scheitelwirbel BWK 8 und 9. Im lumbalen Bereich dominieren die Scheitelwirbel LWK 1 und 2.

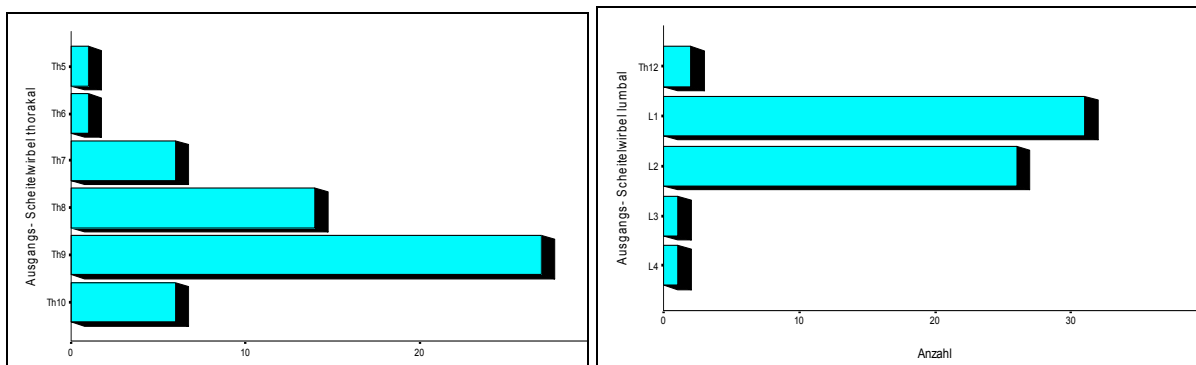


Abb. 30: Lage des Scheitelwirbels der Primärkrümmung bei Erstversorgung

King 1- Skoliosen weisen bezüglich des thorakalen Scheitelwirbels einen Median bei BWK 8 auf. Der Median von King 2- Skoliosen beträgt BWK 9. Dieser Unterschied ist jedoch mit  $p=0,150$  nicht statistisch signifikant.

Der lumbale Ausgangs- Scheitelwirbel weist bei den King 1- Skoliosen einen Median bei LWK 1 auf. Der Median von King 2- Skoliosen beträgt LWK 2. Dieser Unterschied ist mit  $p<0,001^{***}$  hochsignifikant (Abb. 31).

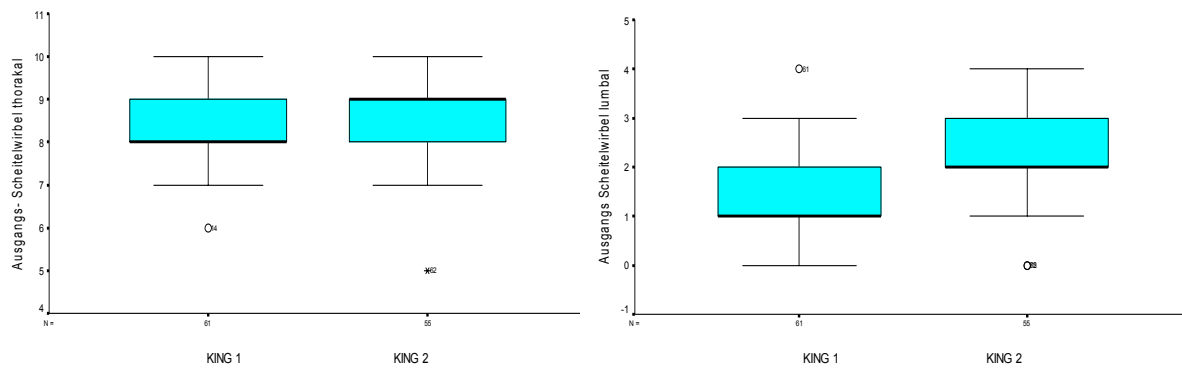


Abb. 31: Boxplot: Unterschiede in der Höhe des thorakalen und lumbalen Ausgangs-Scheitelwirbels in beiden Primärkrümmungen

#### 4.5.1 Einfluss der Höhe des Scheitelwirbels bei Erstdiagnose auf den Endbefund lumbaler Primärkrümmungen (King 1)

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einem Scheitelwirbel (SW) in Höhe LWK 1 bei Diagnosestellung einen signifikant besseren Endbefund als unterhalb oder gleich LWK 2 ( $p = 0,028^*$ ).

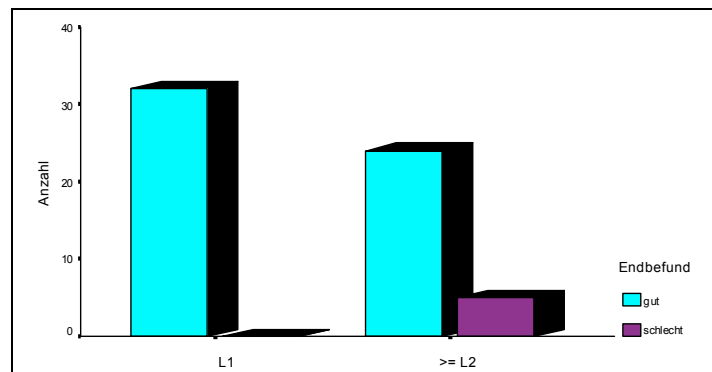


Abb. 32: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei einem Ausgangs-SW in Höhe LWK 1 im Vergleich zu größer oder gleich LWK 2

Bei einem Ausgangs- SW bei Erstdiagnose, der dem 1. LWK entspricht, finden sich ausschließlich gute Endbefunde (32: 0) bei lumbalen Primärkrümmungen. Dagegen finden sich bei Patienten mit einem Ausgangs- SW unterhalb oder auf Höhe des 2. LWK, 5 schlechte und 24 gute Endbefunde. Ein Ausgangs- SW in Höhe des 1. LWK erbringt bei lumbalen Primärkrümmungen zu 100 % gute Ergebnisse im Vergleich zu 83 % bei einem Ausgangs- SW in Höhe des 2. LWK oder darunter gelegen.

Bei den lumbalen Sekundärkrümmungen zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Bei einer Gesamtanzahl von 55 Patienten mit lumbaler Sekundärkrümmung haben Patienten mit einem Ausgangs- SW von L2 oder höher signifikant bessere Endbefunde als bei einem Ausgangs- SW von unterhalb L2 ( $p=0,044^*$ ). Hier finden sich von insgesamt 30 Patienten 24 gute und 6 schlechte Endbefunde. Bei einem Ausgangs- SW, der unterhalb des 2. LWK gelegen ist, finden sich nur 13 gute und 11 schlechte Endbefunde. Ausgangs- SW in Höhe des 2. LWK oder darüber gelegen erbringen bei lumbalen Sekundärkrümmungen zu 80 % gute Ergebnisse im Vergleich zu 54 % bei einem Ausgangs- SW, welcher unterhalb des 2. LWK gelegen ist.

#### 4.5.2 Einfluss der Höhe des Scheitelwirbels bei Erstdiagnose auf den Endbefund thorakaler Primärkrümmungen (King 2)

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden zeigt sich bei Patienten mit thorakaler Primärkrümmungen bezüglich der Höhe des Ausgangs- Scheitelwirbels (SW) bei Erstdiagnose kein signifikanter Unterschied ( $p=0,785ns$ ).

Bei den thorakalen Sekundärkrümmungen findet sich bezüglich der Höhe des Ausgangs- SW bei Erstdiagnose ebenfalls kein signifikanter Unterschied ( $p=0,134ns$ ). Es lässt sich jedoch ein Trend erkennen, der bei einem Ausgangs- SW von BWK 9 nahezu 100% gute Endbefunde erbringt. Bei einem Ausgangs- SW, welcher über oder unter BWK 9 gelegen ist, können jedoch auch zu 88% gute und nur zu 12% schlechte Endbefunde nachgewiesen werden.

#### 4.6 Rotationsänderung des Scheitelwirbels der Primärkrümmungen

Der Median für beide Primärkrümmungen beträgt 0. King 2- Skoliosen weisen jedoch eine stärkere Rotationszunahme auf als King 1- Skoliosen. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ( $p= 0,013^*$ ). Bei King 1- Skoliosen finden sich 38 gleichbleibende, 6 Rotationsab- und 17 Rotationszunahmen. Bei King 2- Skoliosen finden sich nur 25 gleichbleibende, 3 Rotationsab- und 27 Rotationszunahmen (Abb.33).

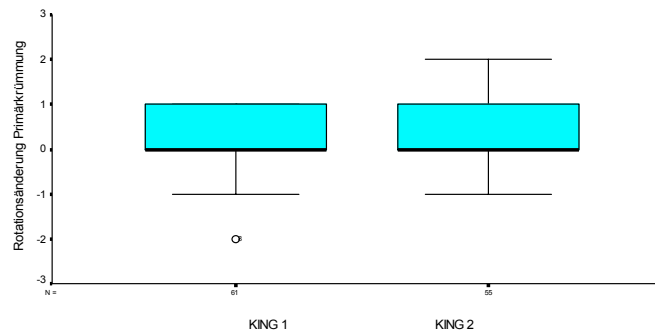


Abb. 33: Boxplot: Unterschied in der Rotationsänderung des Scheitelwirbels beider Primärkrümmungen (Rotation nach Nash & Moe).

#### 4.6.1 Einfluss einer Rotationsänderung des Scheitelwirbels vor und nach Korsetttherapie auf den Endbefund

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden bei King 1-Skoliosen haben Patienten mit gleich bleibender oder abnehmender Rotation des Scheitelwirbels (SW) signifikant bessere Endbefunde als bei zunehmender Rotation des Scheitelwirbels ( $p=0,002^{**}$ ).

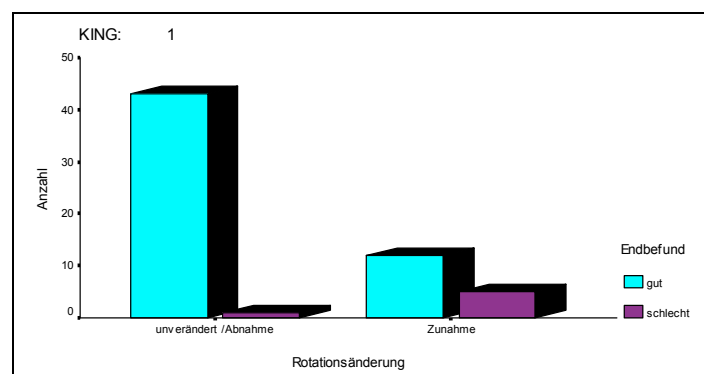


Abb. 34: Patientenanzahl von King 1- Skoliosen mit guten und schlechten Endbefunden bei Änderung der Rotation der Scheitelwirbel

Bei lumbalen Primärkrümmungen finden sich bei Abnahme der Rotation des SW nach Korsetttherapie 43 gute und ein schlechter Endbefund. Bei Rotationszunahme des SW finden sich 13 gute und 4 schlechte Endbefunde. Eine Rotationsabnahme nach Korsetttherapie erbringt zu 98% gute Ergebnisse, eine Rotationszunahme zu 24% schlechte Ergebnisse.

Bei thorakalen Primärkrümmungen zeichnet sich ein ähnlicher Effekt ab, welcher jedoch statistisch nicht signifikant ist ( $p=0,072$ ). Ein Trend zeigt zu 79% gute Endbefunde bei einer Rotationsabnahme des SW nach Korsetttherapie (22:6) und zu 44% schlechte Endbefunde bei einer Rotationszunahme des SW nach Korsetttherapie (15:12).

#### 4.7 Ausgangs- Risserstadium

Die Verteilung der Risserstadien bei Erstdiagnose zeigt ein Überwiegen der Risserstadien 0 und 4.

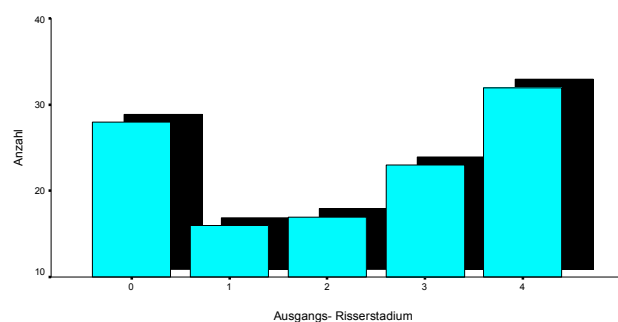


Abb. 35: Risserstadium bei Erstdiagnose

Lumbale Primärkrümmungen (King 1) weisen bezüglich des Ausgangs-Risserstadiums einen Median von 2 auf. Dieser ist mit dem Median thorakaler Primärkrümmungen identisch. Ein Trend zeigt ein geringeres Ausgangs-Risserstadium bei King 1- Skoliosen ( $m=1,86$ ) gegenüber 2,36 bei King 2- Skoliosen, dieser Unterschied ist jedoch nicht statistisch signifikant ( $p=0,065ns$ ).

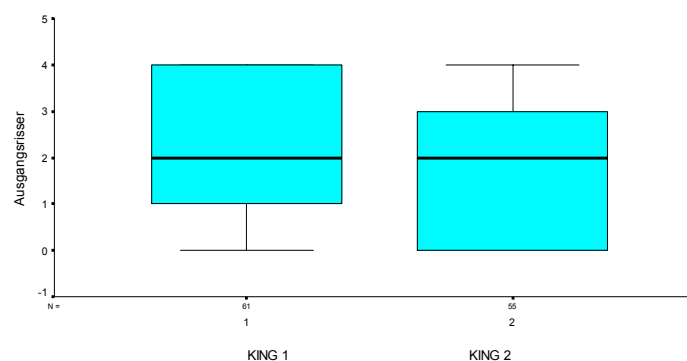


Abb. 36: Boxplot: Unterschied im Ausgangs- Risserstadium beider Primärkrümmung

#### 4.7.1 Einfluss des Ausgangs- Risserstadiums auf den Endbefund

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einem Risserstadium von 4 signifikant bessere Endbefunde in beiden Primärkrümmungen als Patienten mit einem Risserstadium unter 4 ( $p = 0,047^*$  lumbal bzw.  $p = 0,023^*$  thorakal).

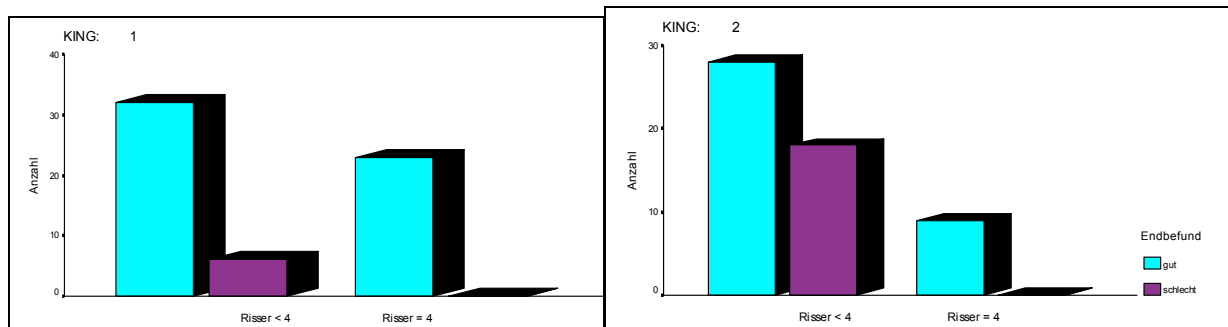


Abb. 37: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden jeweils für lumbale und thorakale Primärkrümmungen in Abhängigkeit vom Risserstadium 4

Bei lumbalen Primärkrümmungen finden sich bei einem RS unter 4, 32 gute und 6 schlechte Endbefunde. Ein RS von 4 erbringt 23 gute und keinen schlechten Endbefund. Es zeigen sich also im RS 4 zu 100% gute Ergebnisse, dagegen bei einem RS unter 4 zu 16% schlechte Ergebnisse.

Bei thorakalen Primärkrümmungen finden sich bei einem RS unter 4, 28 gute und 18 schlechte Endbefunde. Bei einem RS von 4 finden sich nur 9 gute Endbefunde. Es zeigen sich also im RS 4 zu 100% gute Ergebnisse, dagegen bei einem RS unter 4 zu 39% schlechte Ergebnisse.

#### 4.8 Prognostischer Unterschied: thorakale vs. lumbale Skoliosen (King 1 vs. 2)

Bei den 61 Patienten mit lumbalen Primärkrümmungen kommt es vom Zeitpunkt der Diagnosestellung bis zum Ende der Korsetttherapie zu einer durchschnittlichen Änderung des Cobb- Winkels von  $-1,7^\circ$ . Die größte Zunahme des lumbalen Cobb- Winkels beträgt  $16^\circ$  (100%), die maximale Abnahme  $-21^\circ$  (-100%). Die durchschnittliche Änderung des Cobb- Winkels bei den 55 Patienten mit thorakaler Primärkrümmung beträgt  $3,5^\circ$ . Die größte Zunahme des thorakalen Cobb- Winkels ist

mit 58° (131%) etwas höher. Die maximale Abnahme ist mit -14° (-66%) geringer als bei den King 1- Skoliosen.

King 1- Skoliosen weisen hinsichtlich der Höhe des Cobb- Winkels der Primärkrümmung nach Korsetttherapie einen niedrigeren Median (23) auf als King 2- Skoliosen (29). Dieser Unterschied ist statistisch hochsignifikant ( $p < 0,001^{***}$ ).

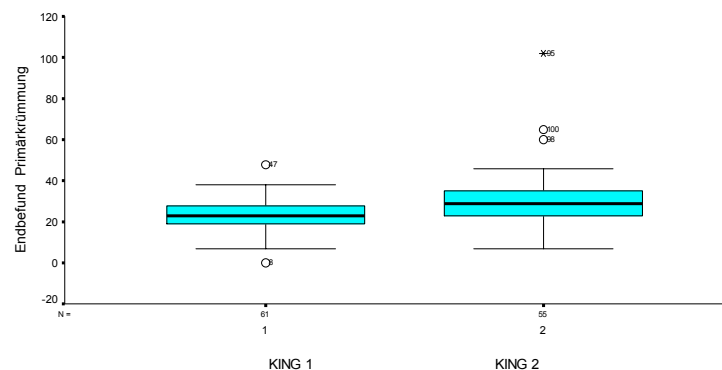


Abb. 38: Boxplot: Unterschied in der Höhe des Cobb- Winkels der Primärkrümmung nach Korsetttherapie

Im Vergleich der thorakalen (King 2) mit den lumbalen (King 1) Skoliosen bezüglich des Endbefundes kann ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ( $p = 0,012^*$ ).

Bei den lumbalen Primärkrümmungen findet sich eine Gesamtanzahl von 61, woraus 53 gute Endbefunde und 8 schlechte Endbefunde resultieren. Bei den thorakalen Primärkrümmungen findet sich eine Gesamtanzahl von 55, woraus sich 37 gute und 18 schlechte Endbefunde ergeben. King 1- Skoliosen zeigen mit 87% guten Endbefunden bessere Ergebnisse als King 2- Skoliosen mit 67% guten Endbefunden.

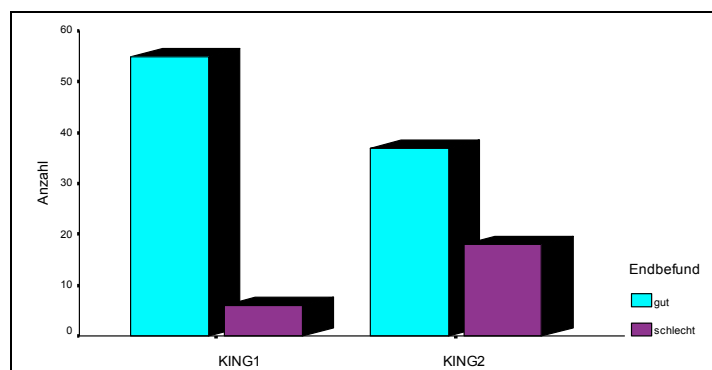


Abb. 39: prognostischer Unterschied zwischen thorakalen und lumbalen Skoliosen

Der Korrekturverlauf im Korsett in Abhängigkeit vom Lebensalter ist in Abbildung 40 für thorakale und lumbale Primärkrümmungen dargestellt. Das größte Korrekturpotential besteht bei lumbalen Primärkrümmungen zur Zeit des präpubertären Wachstumsschubes (11.-13. Lebensjahr) und nimmt mit zunehmendem Lebensalter ab. Bei den thorakalen Primärkrümmungen ist die durchschnittliche Winkelkorrektur vom 6. – 8. Lebensjahr aufgrund der Elastizität des Thorax sehr hoch. Vom 9. -18. Lebensjahr bewegt sich die durchschnittliche Winkelkorrektur auf einem niedrigeren aber konstanten Niveau.

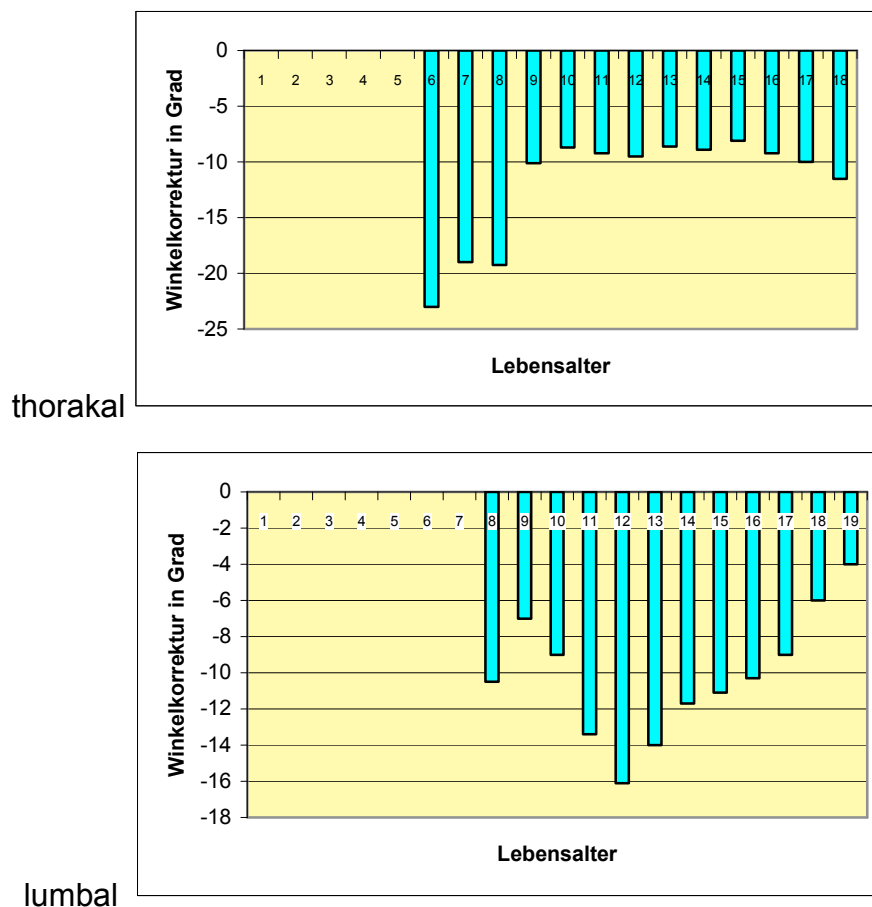


Abb. 40: durchschnittlicher Korrekturverlauf im Korsett im jeweiligen Lebensalter

#### 4.9 Erstkorrektur im Korsett

King 1- Skoliosen weisen eine höhere Erstkorrektur im Korsett auf als King 2- Skoliosen. Der Median für lumbale Primärkrümmungen beträgt -10, bei thorakalen Primärkrümmungen -7. Dieser Unterschied ist statistisch sehr signifikant ( $p = 0,016^{**}$ ) (Abb. 41).



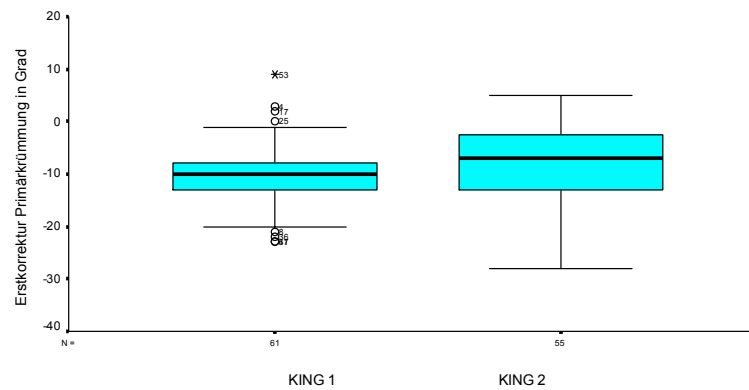


Abb. 41: Boxplot: Unterschied in der Erstkorrektur der Primärkrümmung im Korsett

#### 4.9.1 Einfluss der Erstkorrektur im Korsett auf lumbale Primärkrümmungen (King 1)

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einer Primärkorrektur von mindestens 40% signifikant bessere Ergebnisse als Patienten mit einer Primärkorrektur unter 40% ( $p=0,004^{**}$ ).

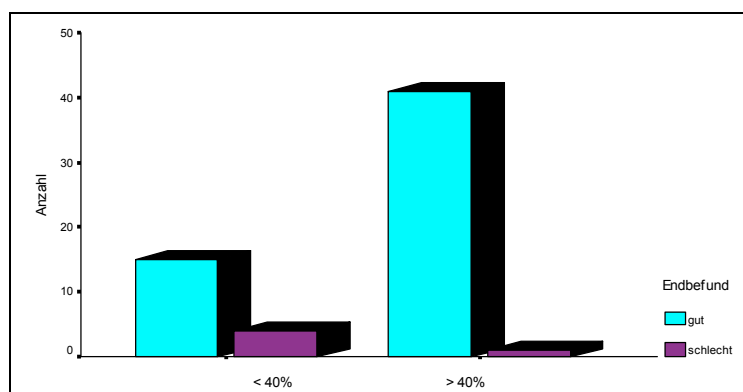


Abb. 42: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei einer Primärkorrektur von < 40% und > 40%

Bei einer Erstkorrektur im Korsett von über 40% finden sich bei lumbalen Primärkrümmungen 41 gute und nur 1 schlechter Endbefund gegenüber 4 schlechten Endbefunden von insgesamt 19 bei einer Primärkorrektur von unter 40%. Liegt die Primärkorrektur im Korsett über 40% zeigen sich zu 98% gute Endbefunde gegenüber 21 % schlechten Endbefunden bei einer Primärkorrektur von unter 40%.

#### 4.9.2 Einfluss der Erstkorrektur im Korsett auf thorakale Primärkrümmungen (King 2)

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einer Primärkorrektur von mindestens 30% signifikant bessere Endbefunde als Patienten mit einer Primärkorrektur im Korsett unter 30% ( $p=0,001^{***}$ ).

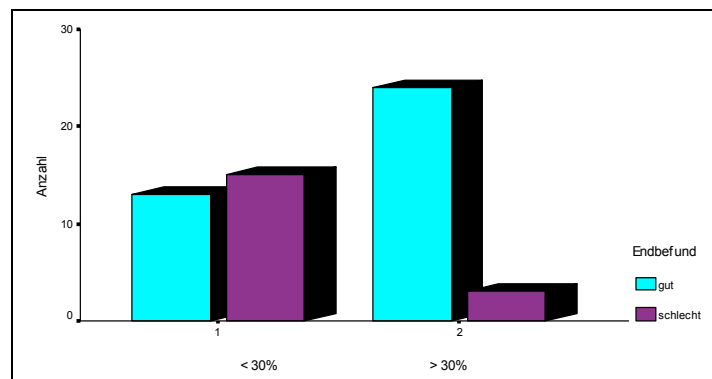


Abb. 43: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei einer Primärkorrektur von < 30% und > 30%

Bei einer Erstkorrektur im Korsett von über 30% finden sich bei thorakalen Primärkrümmungen 24 gute und 3 schlechte Endbefunde gegenüber 15 schlechten Endbefunden von insgesamt 28 bei einer Primärkorrektur von unter 30%. Liegt die Primärkorrektur im Korsett über 30% zeigen sich zu 89% gute Endbefunde gegenüber 54 % schlechten Endbefunden bei einer Primärkorrektur von unter 30%.

#### 4.9.3 Korrelation des Ausgangswinkels mit der Erstkorrektur im Korsett

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Höhe des Ausgangswinkels beider Primärkrümmungen und dem Winkel der Erstkorrektur im Korsett zeigt kann eine lineare Korrelation geringen Ausmaßes nachgewiesen werden (Spearman- Koeffizient King 1: 0,57, King 2: 0,47) ( $p< 0,001^{***}$ ) (Abb.44).

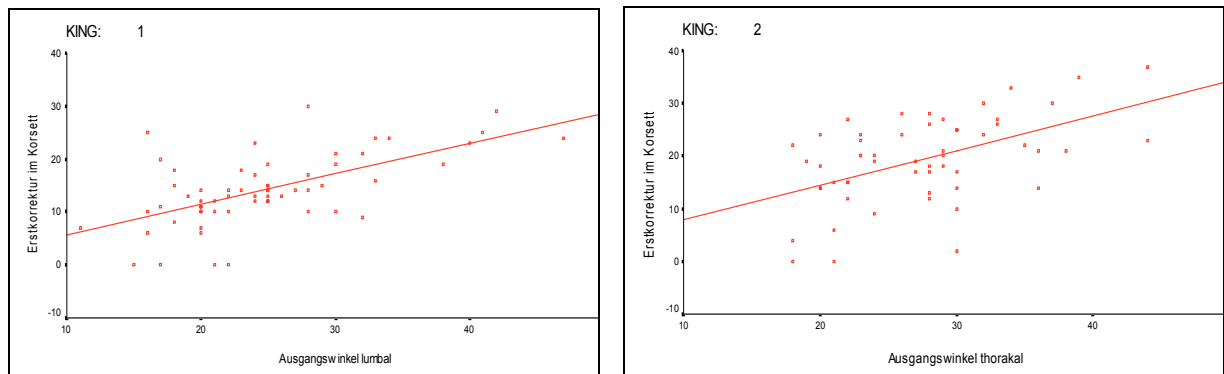


Abb. 44: Streudiagramm mit Regressionsgeraden für beide Primärkrümmungen – Zusammenhang zwischen Ausgangswinkel und Erstkorrektur im Korsett

#### 4.10 Verschiebung des Scheitelwirbels im Korsett im Vergleich zum Ausgangs- SW

King 1- Skoliosen weisen eine geringere Verschiebung des Scheitelwirbels der Primärkrümmung im Korsett auf als King 2- Skoliosen. Der Median für lumbale Primärkrümmungen beträgt 0, für thorakale Primärkrümmungen 0,5. Dieser Unterschied ist statistisch sehr signifikant ( $p = 0,007^{**}$ ).

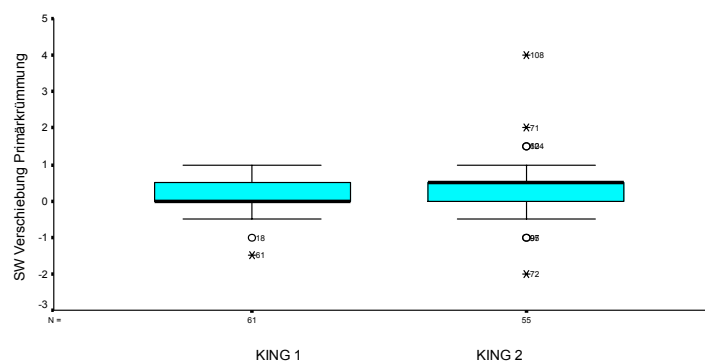


Abb. 45: Boxplot: Unterschied in der SW- Verschiebung im Korsett zum Ausgangs- SW.

##### 4.10.1 Einfluss der Verschiebung des Scheitelwirbels im Korsett in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel auf den Endbefund

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einer Verschiebung des Scheitelwirbels im Korsett in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel nach cranial signifikant bessere Ergebnisse (King 1:  $p = 0,039^*$ ; King 2:  $p = 0,037^*$ ).

Bei einer Verschiebung des Scheitelwirbels im Korsett nach cranial in Bezug zum Ausgangs- SW finden sich bei den lumbalen Primärkrümmungen 27 gute und kein schlechter Endbefund und bei den thorakalen Primärkrümmungen 29 gute sowie 5 schlechte Endbefunde.

Bei einer Verschiebung des SW im Korsett nach caudal oder bei gleich bleibenden Scheitelwirbeln ohne Verschiebung finden sich bei den lumbalen Primärkrümmungen 14 gute und 2 schlechte Endbefunde und bei den thorakalen Primärkrümmungen 22 gute und 16 schlechte Endbefunde. Eine Verschiebung des Scheitelwirbels nach cranial erbringt in beiden Primärkrümmungen gute Endbefunde (King 1: 100%, King 2: 85%). Bei gleich bleibendem Scheitelwirbel oder einer Verschiebung nach caudal finden sich in beiden Primärkrümmungen zu 12,5% schlechte Endbefunde für King 1 und zu 42% schlechte Endbefunde für King 2.

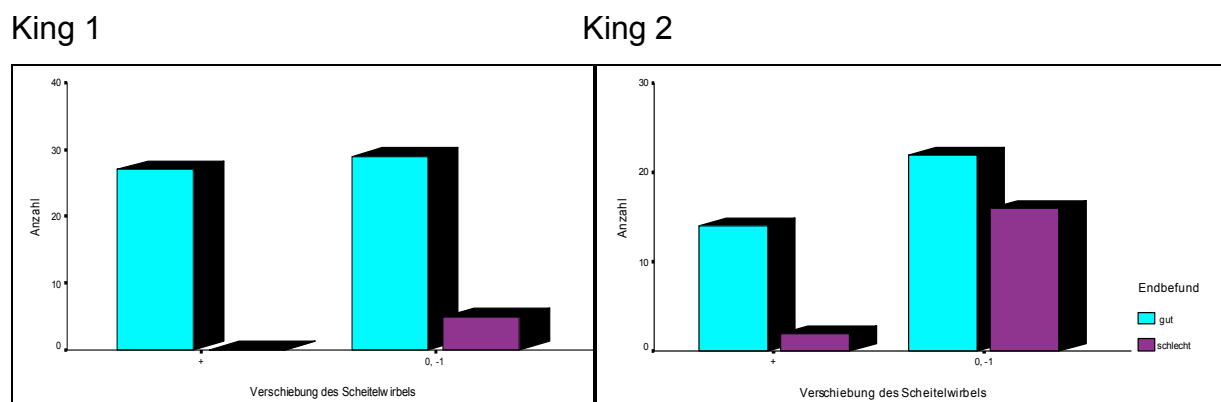


Abb. 46: Anzahl von Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei Verschiebung des Scheitelwirbels im Korsett in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel bei lumbalen und thorakalen Primärkrümmungen

Die Verschiebung oder das Gleichbleiben des SW ist bereits im Bending sichtbar. Bei den King 1- Skoliosen zeigen sich 17 Übereinstimmungen (von 20) der SW- Verschiebung bzw. SW- Persistenz bezüglich des Bendings und der Änderung der SW- Etage im Korsett. Zu 85% ist die Änderung der SW- Etage schon im Bending sichtbar. Bei den King 2- Skoliosen zeigen sich 12 Übereinstimmungen (von 17) der SW- Verschiebung bzw. Persistenz bezüglich des Bendings und der Änderung der SW- Etage im Korsett. Zu 71% ist die Änderung der SW- Etage schon im Bending sichtbar.

#### 4.11 Einfluss der Verschiebung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel auf den Endbefund

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden zeigt sich bei einer Gesamtanzahl von 61 Patienten mit lumbaler Primärkrümmung bezüglich der Verschiebung des SW nach Korsetttherapie kein signifikanter Unterschied ( $p=0,439$ ). Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit thorakaler Primärkrümmung und einer Verschiebung des SW nach Korsetttherapie nach caudal signifikant schlechtere Endbefunde als Patienten mit einer gleich bleibender SW- Etage oder einer Verschiebung des SW nach cranial ( $p=0,023^*$ ).

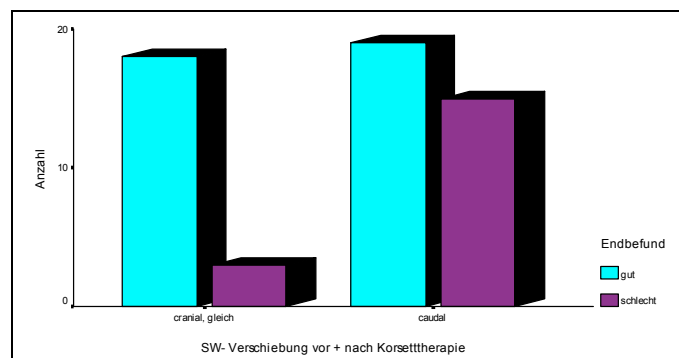


Abb. 47: Patienten mit guten und schlechten Endbefunden bei Veränderung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel

##### 4.11.1 Korrelation der Verschiebung des Scheitelwirbels mit der Änderung des Cobb- Winkels der Primärkrümmung vor und nach Korsetttherapie

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der SW- Verschiebung und der Änderung des Cobb- Winkels (CW) der Primärkrümmung vor und nach Korsetttherapie lässt sich mit einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,066$  und  $-0,075$  keine Korrelation nachweisen (King 1:  $p= 0,61$ ; King 2:  $p= 0,58$ ).

#### 4.12 Einfluss der Winkelkorrektur im Korsett während der Korsetttragedauer auf den Endbefund

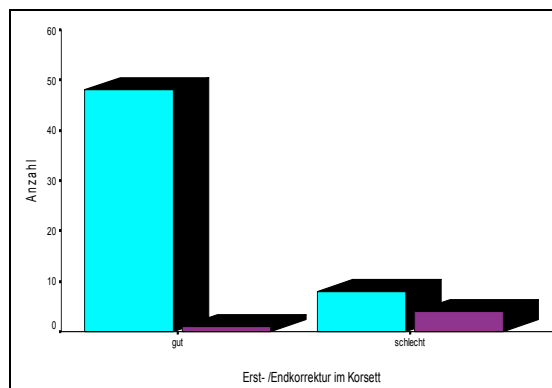
Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einem guten Winkelkorrekturverlauf im Korsett (max.  $5^\circ$  CW- Zunahme während der Korsetttragedauer im Korsett) in beiden Primärkrümmungen einen signifikant

besseren Endbefund als Patienten mit einem schlechten Winkelkorrekturverlauf ( $> 5^\circ$  CW- Zunahme) im Korsett in Bezug auf die Erst- und Endkorrektur im Korsett (King 1+2:  $p < 0,001^{***}$ ).

Bei einem guten KV des Cobb- Winkels im Korsett während der Korsetttragedauer finden sich bei beiden Primärkrümmungen gute Endbefunde, im Einzelnen 48 gute und 1 schlechter Endbefund bei King 1 und 30 gute und 3 schlechte Endbefunde bei King 2 somit 98% gute Ergebnisse bei lumbalen und 91% gute Ergebnisse bei thorakalen Primärkrümmungen.

Bei einem schlechten KV des Cobb- Winkels im Korsett während der Korsetttragedauer finden sich bei beiden Primärkrümmungen überwiegend schlechte Endbefunde. Bei King 1 finden sich 8 gute und 4 schlechte Endbefunde und bei King 2 finden sich 7 gute und 15 schlechte Endbefunde somit zu 33% schlechte Ergebnisse bei lumbalen und 68% schlechte Ergebnisse bei thorakalen Primärkrümmungen.

King 1



King 2

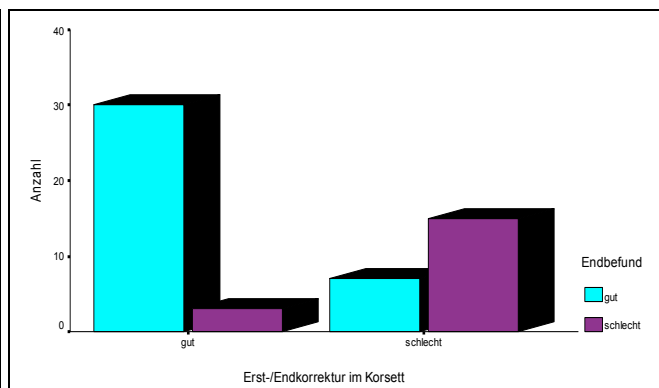


Abb. 48: Patientenanzahl mit guten und schlechten Endbefunden bei gutem bzw schlechtem Winkelkorrekturverlauf während der Korsetttragedauer (Erst- vs. Endkorrektur des Cobb- Winkels im Korsett)

#### 4.13 Einfluss des Pelottensitzes auf den Endbefund

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einem Sitz der Pelotte um  $\frac{1}{2}$  bis 1 Wirbelkörper unterhalb des Scheitelwirbels der jeweiligen Hauptkrümmung in beiden Primärkrümmungen signifikant bessere Endbefunde (King 1:  $p = 0,034^*$ ; King 2:  $p = 0,002^{**}$ ) (Abb. 49).

King 1

King 2

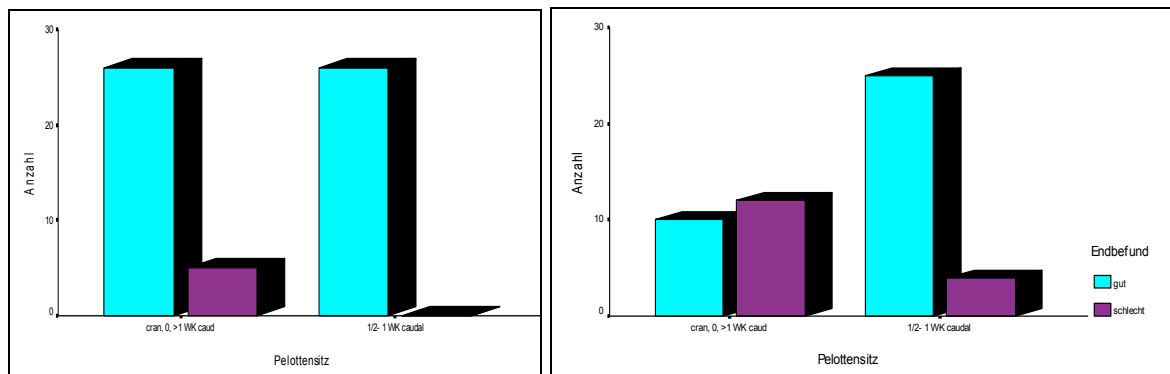


Abb. 49: Patientenanzahl mit guten und schlechten Endbefunden in Abhängigkeit des Pelottensitzes in Bezug zum Scheitelwirbel

Bei einem Pelottensitz (PS) um  $\frac{1}{2}$  bis 1 Wirbelkörper caudal des SW können bei den lumbalen Primärkrümmungen ausschließlich 26 gute Endbefunde (100%) und bei den thorakalen Primärkrümmungen 25 gute und 4 schlechte Endbefunde, also zu 86% gute Ergebnisse erzielt werden. Bei einem PS in Höhe des SW oder cranial des SW finden sich bei den lumbalen Primärkrümmungen 26 gute und 5 schlechte Endbefunde, also nur 84% gute Ergebnisse. Bei den thorakalen Primärkrümmungen finden sich 10 gute und 12 schlechte Endbefunde, also nur 46% gute Endbefunde.

#### 4.14 Einfluss des thorakalen Pelottensitzes auf den Endbefund bezüglich der Kraftwirkung über den Rippenverlauf auf die Wirbel

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit einem Pelottensitz in Höhe des Rippenverlaufs lateral, welcher direkt auf den Scheitelwirbel oder bis 1 Wirbelkörper darunter mündet, signifikant bessere Endbefunde ( $p=0,001^{***}$ ).

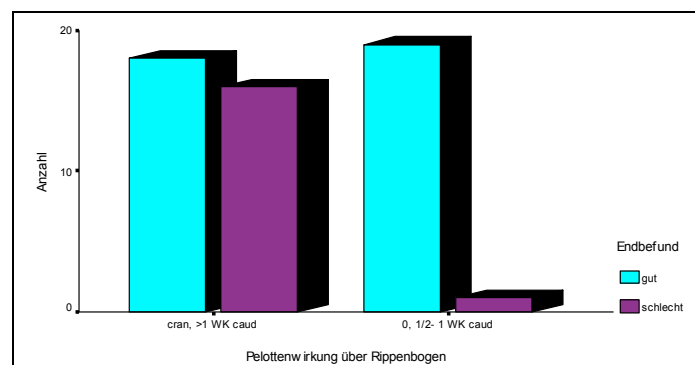


Abb. 50: Patientenanzahl mit guten und schlechten Endbefunden in Abhängigkeit vom Pelottensitz mit Kraftwirkung über den Rippenverlauf

Bei einem PS mit Kraftwirkung über den Rippenverlauf auf den SW bzw. bis zu einem Wirbelkörper caudal des SW finden sich 19 gute und ein schlechter Endbefund, also zu 95% gute Ergebnisse. Bei einem PS mit Kraftwirkung über den Rippenverlauf cranial des SW oder um mehr als einen Wirbelkörper caudal des SW finden sich 18 gute und 16 schlechte Endbefunde, also zu 47% schlechte Ergebnisse.

#### 4.15. Korrelation der Cobb- Winkeländerung der Primärkrümmung mit der Rotationsänderung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der absoluten Änderung des Cobb-Winkels beider Primärkrümmungen und der Rotationsänderung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie zeigt sich eine lineare Korrelation geringen Ausmaßes (Spearman- Koeffizient King 1: 0,43; King 2: 0,31). ( $p < 0,001^{***}$ )

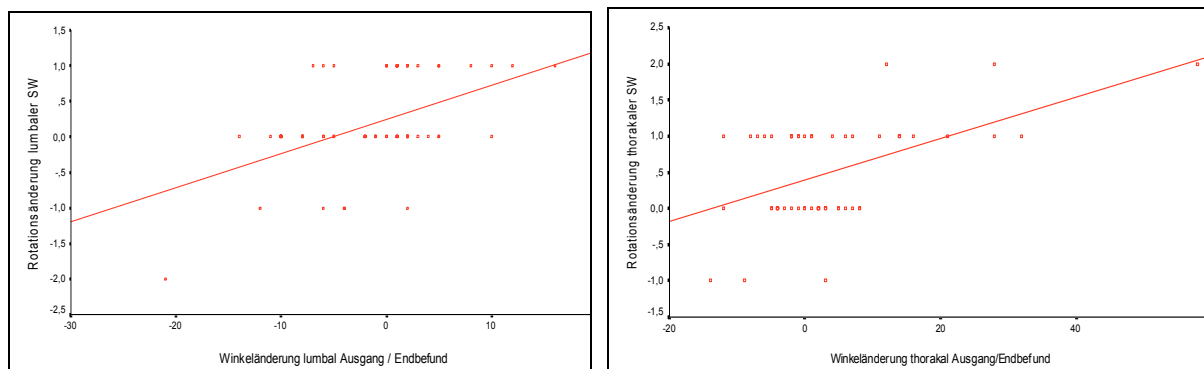


Abb. 51: Streudiagramm mit Regressionsgeraden für beide Primärkrümmungen – Zusammenhang zwischen Cobbwinkeländerung und Rotationsänderung des SW nach Korsetttherapie (Rotation nach Nash & Moe)

#### 4.16 Korrelation der Ausgangsrotation des thorakalen Scheitelwirbels mit dem Ausmaß des Rippenbuckels

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Rotation des thorakalen Scheitelwirbels vor Korsetttherapie und dem Ausmaß des Rippenbuckel zeigt sich eine lineare Korrelation (Spearman- Koeffizient 0,49,  $p < 0,001^{***}$ ) (Abb. 52).



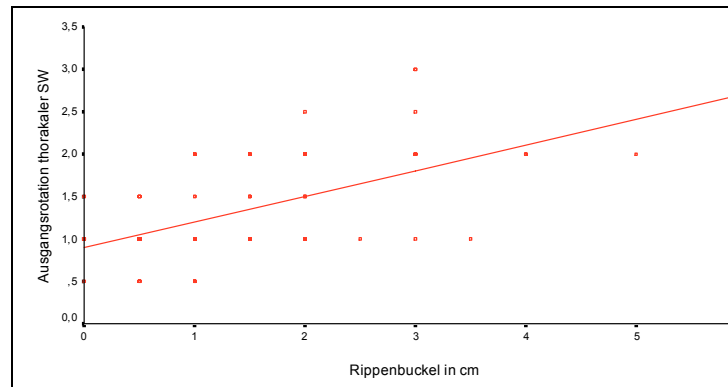


Abb. 52: Streudiagramm mit Regressionsgerade – Zusammenhang zwischen der Ausgangsrotation (nach Nash & Moe) des thorakalen SW und dem Ausmaß des Rippenbuckels

#### 4.17 Korrelation des Ausgangs- Cobbwinkels mit der Seitabweichung

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Cobbwinkels vor Korsetttherapie und der Abweichung des Lotes (C7-Rima ani= Rumpfüberhang) findet sich keine Korrelation (Spearman- Koeffizient: 0,136,  $p=0,163$ ns).

#### 4.18 Einfluss des Bendings und der aktiven Aufrichtungsfähigkeit auf den Endbefund

Bei den King 1- Skoliosen wurde der lumbale Cobb- Winkel in den Bendingaufnahmen um durchschnittlich  $17,2^\circ$  auf  $7^\circ$  verbessert, bei den King 2- Skoliosen verbesserte sich der thorakale Cobb- Winkel um durchschnittlich  $14,8^\circ$  auf  $13,8^\circ$ .

Im Vergleich der Gruppen mit guten und schlechten Endbefunden haben Patienten mit gutem Bending signifikant bessere Endbefunde in beiden Primärkrümmungen (King 1:  $p=0,033^*$ ; King 2:  $p=0,048^*$ ).

Bei einer lumbalen Primärkrümmung mit freiem Bending vor Korsetttherapie finden sich 48 gute und 2 schlechte Endbefunde, was 96% guten Ergebnissen entspricht. Bei einem schlechten bzw. fixierten Bending vor Korsetttherapie finden sich 8 gute und 3 schlechte Endbefunde, also zu 27% schlechte Ergebnisse. Bei einer thorakalen Primärkrümmung mit freiem Bending finden sich 30 gute und 10 schlechte Endbefunde, also zu 75% gute Ergebnisse. Bei schlechtem Bending hingegen finden sich 7 gute und 8 schlechte Endbefunde, also zu 53% schlechte Ergebnisse (Abb. 53).

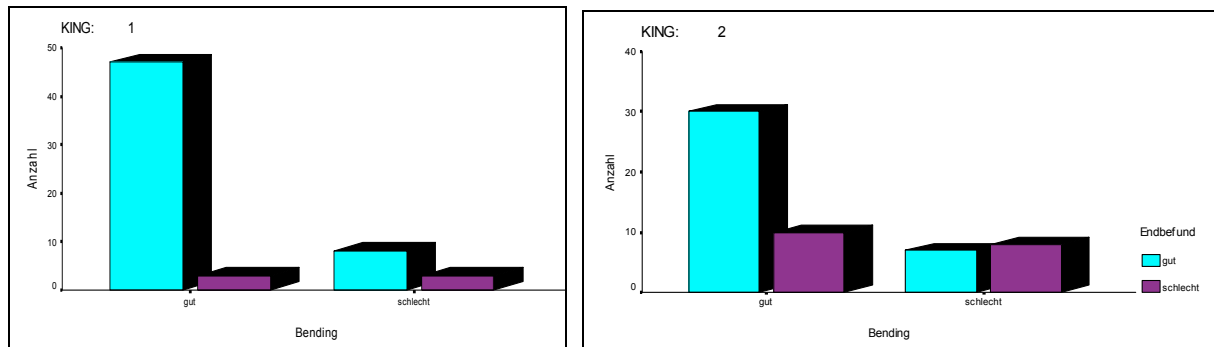


Abb. 53: Patientenanzahl mit guten und schlechten Endbefunden bei freiem und fixiertem Bending vor Korsetttherapie

Bezüglich der aktiven Aufrichtungsfähigkeit wurden bei beiden Primärkrümmungen keine statistisch signifikanten Werte ermittelt (King 1:  $p=0,884ns$ ; King 2:  $p=0,624ns$ ).

#### 4.19 Endbefund nach Abschluss der Korsetttherapie

In der Analyse der Gruppen beider Primärkrümmungen bezüglich der Änderung des Cobb- Winkels nach Abschluss der Korsetttherapie findet sich thorakal eine durchschnittliche Verschlechterung um  $0,7^\circ$  pro Jahr und lumbal um  $2,2^\circ$  pro Jahr unter Berücksichtigung der ersten 2 Jahre nach Abschluss der Korsetttherapie.

#### 4.20 Einfluss von Risikofaktoren

In einer Varianzanalyse wurde der Einfluss des Alters und des Geschlechtes auf den Endbefund von King 1 + 2- Skoliosen untersucht. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Einfluss des Alters bei Erstversorgung ( $p<0,001$ ), weiterhin ein signifikanter Einfluss des Geschlechts ( $p=0,001$ ) und die signifikante Wechselwirkung zwischen beiden ( $p=0,046$ ). Weiterhin wurde der Einfluss eines vorhandenen Flachrückens, einer Muskelinsuffizienz und einer Anteflexionsstörung auf den Endbefund von King 1 + 2- Skoliosen untersucht. Hierbei fand sich kein signifikantes Ergebnis. Ein Trend zeigt jedoch den negativen Einfluss einer Anteflexionsstörung auf den Endbefund ( $p=0,070$ ) sowie einer Kombination von Anteflexionsstörung mit einer muskulären Insuffizienz ( $p=0,061$ ).

## **5. Diskussion**

Die Normalisierung von Form und Funktion der skoliotischen Wirbelsäule ist das Ziel der konservativen und operativen Therapie. Dabei ist die Korsetttherapie unterhalb der Operationsindikationsgrenzen die einzige kausale Therapieoption. Zahlreiche kontrollierte Studien dokumentieren die Wirksamkeit der Korsettbehandlung (*Nachemson und Peterson 1995, Landauer et al. 1997, Hefti 1998, Carlson und Winter 1999, Weiss et al. 2003, Bullmann et al. 2004, Jonathan et al. 2009*). Auch *Negrini et al. (2008)* berichten in ihrer Studie über eine Operationsrate von 0,9 - 4,5% unter Korsettversorgung und kommen zu dem Schluss, dass die Korsetttherapie die Operationsnotwendigkeit idiopathischer Skoliosen signifikant reduziert. Weiterhin belegen bereits die Studien über den Spontanverlauf die schlechtere Prognose unbehandelter idiopathischer Skoliosen mit einer Befundverschlechterung um mehr als 60% auf (*Lonstein und Carlson 1984, Bunell 1988*).

Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit die Betrachtung der im Ergebnisteil genannten Punkte eine prädiktive Aussage im Hinblick auf eine Progredienz der Skoliose unter einer Korsettlangzeittherapie ermöglicht und welche Einflussfaktoren eines besonderen Augenmerks bedürfen.

Diese Arbeit zeigt einerseits Ergebnisse auf, die mit der allgemeinen Literatur übereinstimmen, andererseits finden sich aber auch einige neue, von den bekannten Paradigmen abweichende Ergebnisse. Es sind weiterhin vergleichende Aussagen über die unterschiedlichen Korsettwirkungen in den beiden Primärkrümmungen möglich.

Als Grundlage aller Analysen wurde der Therapieerfolg mit besseren oder gleich bleibenden Cobb- Winkelwerten bzw. ein Therapieversagen mit einer Progredienz des Cobb- Winkels von  $> 5^\circ$  nach Korsetttherapie festgelegt.

In unserem Patientengut fand sich analog zu den Angaben von *Weinstein (1989)* ein Geschlechtsverhältnis von 10,5 :1 zuungunsten des weiblichen Geschlechts. Dabei ließ sich der Cobb-Winkel nach Korsetttherapie bei den Mädchen besser korrigieren, als bei den Jungen. Die Rate an Therapieversagern in der männlichen Gruppe unterscheidet sich mit 55% signifikant von der weiblichen Gruppe mit nur 17%. Dies

steht im Gegensatz zu anderen Autoren, welche das weibliche Geschlecht als prognostisch ungünstigeren Faktor darstellen (*Götze 1990, Lonstein und Carlson 1984, Weinstein 1989, Heine und Heine 1981, Jonathan et al. 2009*). Lediglich von *Bullmann et al. (2004)* und *Wu et al. (2010)* wird das männliche Geschlecht als Risikofaktor für ein Therapieversagen genannt. Übereinstimmend mit den Ergebnissen dieser prospektiven Studien finden sich auch in unserer Arbeit keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Korrektur der Cobb-Winkel im Korsett, jedoch ein Unterschied hinsichtlich des Therapieerfolgs mit schlechteren Ergebnissen bei männlichen Patienten. Die stark asymmetrische Häufigkeitsverteilung zugunsten des weiblichen Geschlechts mit einer sehr geringen Anzahl männlicher Patienten in allen Studien und einer fraglichen statistischen Auswertbarkeit kann eine Erklärung dieser gegensätzlichen Aussagen in Bezug auf die geschlechtsspezifischen Unterschiede liefern. Einen interessanten Ansatz liefert die Studie von *Karol (2001)* auf, in der ausschließlich Jungen hinsichtlich der Effektivität einer Korsetttherapie unter Berücksichtigung der Compliance untersucht wurden. Auch er berichtet über schlechte Ergebnisse mit 74% Therapieversagern und davon 46% Operationsnotwendigkeit, wofür er die geringe Compliancerate unter Korsetttherapie von nur 38% verantwortlich macht. *Yrjonen et al. (2007)* unterstützen diese Ergebnisse. Sie ermittelten bei männlichen Patienten eine Noncompliancerate von 35%. Jedoch fanden sie auch bei Compliance eine um 10% häufigere Krümmungsprogredienz unter Korsetttherapie als beim weiblichen Geschlecht. Bisher konnte jedoch noch kein Nachweis bezüglich einer Korrelation zwischen Patientenfragebögen und objektiven Messungen im Hinblick auf die Compliance erbracht werden, sodass wir in unserer Studie auf die Erhebung dieser Einflussgröße verzichteten.

Das Durchschnittsalter aller Patienten bei Korsetterstversorgung ist mit 13,4 Jahren vergleichbar mit anderen Studien und liegt in der Phase des präpubertären Wachstumsschubes (*Tanner et al. 1966, Nachemson und Peterson 1995, Lonstein und Winter 1994, Emans et al. 1986*). In dieser Zeit wurden die häufigsten Erstdiagnosen gestellt. Schon *Stagnara und Debrosses (1960)* beschrieben eine erhebliche Befundverschlechterung der Krümmungen während des präpubertären Wachstumsschubes. Dabei werden nach unseren Erfahrungen thorakale Primärkrümmungen früher klinisch auffällig und mit einem Korsett versorgt als die

lumbalen Primärkrümmungen. Dies lässt sich mit dem häufig sichtbareren und kosmetisch störenden Rippenbuckel erklären, welcher vor allem den Mädchen als vorrangig betroffenes Geschlecht stärkere Probleme im Alltag bereitet und somit eher eine orthopädische Untersuchung zur Folge hat (*Weinstein 1999, Danielsson et al. 2001*), respektive bleiben lumbale Krümmungen länger und zu einem größeren Ausmaß unbehandelt.

Der in der Literatur häufig beschriebene Einfluss des Alters sowie der Skelettreife auf die Prognose zeigt sich auch in unserer Studie. Demnach ist die Wahrscheinlichkeit einer Skolioseprogredienz umso geringer, je älter die Patienten bei der Erstdiagnose sind. Bei den jüngeren Patienten mit Korsetterstversorgung unter dem 13. Lebensjahr für die lumbalen und unter dem 11. Lebensjahr für die thorakalen Primärkrümmungen fanden sich jeweils schlechtere Endergebnisse als bei den älteren Patienten (*James 1954, Ponseti und Friedmann 1950, Scott und Morgan 1963, Brooks et al. 1975, Rogala und Drummond 1978, Rowe et al. 1997, Weinstein 1999, Bullmann 2004, Shaughnessy 2007, Kim et al. 2009*). Aufgrund des kausalen Zusammenhanges zwischen Alter und Skelettreife haben reifere Patienten mit einem höheren Risserstadium bessere Endbefunde als jüngere Patienten mit noch größerer Wachstumsreserve und geringerem Risserstadium. Bereits 1988 betonte *Bunnell* die prognostische Bedeutung des Risserzeichens mit einem Progredienzrisiko von 50% im Risserstadium I-II im Gegensatz zu nur noch 20% im Stadium III-IV. Analog dazu zeigt sich das größte Progredienzrisiko in unserer Arbeit bei den Patienten, die bei der Erstmanifestation ein Risserzeichen von 0 aufwiesen. Dies ist in Anlehnung an den natürlichen Verlauf idiopathischer Skoliosen mit einer höheren Flexibilität der noch unreifen Wirbelsäule und der somit größeren Gefahr der Verschlechterung der Krümmungen über die Zeit zu erklären (*Peterson und Nachemson 1995*). *Wu et al. (2010)* berichten hingegen über eine untergeordnete Rolle des Alters und der Skelettreife auf die Progredienz skoliotischer Verkrümmungen und schreiben anderen Faktoren, wie dem Geschlecht, dem Cobb- Winkel, der Höhe des Scheitelwirbels und der Seitabweichung stärkere Effekte auf die Progredienz zu.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen anderer Autoren sollte das Korsett bis zum Wachstumsabschluss mit Vollendung des Risserstadiums V getragen werden (*Rowe et al. 1997, Nachemson und Peterson 1995, Weinstein und Ponseti 1983, Karol et al.*

1993, Shaughnessy 2007). Karol et al. (1993, 2001) und Yrjonen et al. (2007) empfehlen eine Korsetttragezeit bis zum Risserstadium V, vor allem bei männlichen Patienten, da sie aufgrund der verlängerten Wachstumsphase eine Verschlechterung im Risserstadium 4 von 46% bis zur operativen Korrektur beobachteten. Nach unseren Ergebnissen sollte das Korsett bei thorakalen Primärkrümmungen nicht vor dem 16. Lebensjahr abtrainiert werden, bei lumbalen Primärkrümmungen liegt die Altersgrenze bei dem 17. Lebensjahr. Von Landauer et al. (1997) wird jedoch betont, dass eine längere Tragedauer bis über den Wachstumsabschluss hinaus keinen zusätzlichen Therapieerfolg erwarten lässt. Im Gegensatz dazu berichten Escalada et al. (2009) über ein Wachstums- und Progredienzmaximum, welches 1 Jahr vor Menarche stattfindet. 6 Monate nach Menarche zeigt sich ein gegensätzliches Verhältnis zwischen abnehmender Wachstumsgeschwindigkeit und zunehmender Krümmungsprogredienz. Nach diesen Ergebnissen ist auch am Ende der Pubertät ein Progredienzrisiko mit Verschlechterung der Krümmung vorhanden. Dies sollte von den behandelnden Orthopäden berücksichtigt werden, um das Ergebnis einer langjährigen Korsetttherapie nicht zu gefährden, da bis zum Wachstumsabschluss und auch danach in Abhängigkeit des Ausgangsbefundes und der Höhe des Scheitelwirbels, vor allem bei Cobb-Winkeln über 50°, mit einer Progredienz von 0,5 – 1° pro Jahr gerechnet werden muss (Montgomery und Willner 1997, Ascani et al. 1986, Weinstein und Ponseti 1983, Landauer und Behensky 2002). Veldhuizen et al. (2000) geht sogar von einer Zunahme der Krümmung nach Wachstumsabschluss von 1 - 2° pro Jahr aus, wofür er die stetig abnehmende Elastizität der Bandscheiben in der Konkavität der Krümmung verantwortlich macht. Nach unseren klinischen Erfahrungen kann die Progredienz nach der Höhe des Cobb- Winkels nach Korsetttherapie eingeschätzt werden. Bei einem Cobb- Winkel unter 25° gehen wir nach Wachstumsabschluss von keiner Verschlechterung aus, Winkel zwischen 25 und 35° verschlechtern sich um 0,5° pro Jahr und Winkel über 35° um 1° pro Jahr. Unsere Analysen nach Abschluss der Korsettbehandlung zeigen eine durchschnittliche Verschlechterung der thorakalen und lumbalen Primärkrümmungen von 0,7 bzw. 2,2° pro Jahr. Aufgrund der geringen Patientenanzahl konnte eine Unterteilung in verschiedenen hohe Cobb- Winkel nach Korsetttherapie und deren separate Auswertung nicht vorgenommen werden. Weiterhin wurden nur die ersten zwei Jahre nach Korsetttherapie berücksichtigt. Die große Spannweite der durchschnittlichen Verschlechterung der Cobb- Winkel nach Wachstumsabschluss von 0,7 bzw. 2,2° pro Jahr ist daher nur als eine Tendenz zu

werten. Es ist zu erwarten, dass sich die Werte in den folgenden Jahren etwas nach unten korrigieren lassen. Daher sollte dieser Sachverhalt durch die Analyse eines längeren Zeitraumes nach Korsetttherapie sowie eines größeren Patientenkollektives mit Unterteilung nach der Höhe des Endcobb- Winkels genauer betrachtet werden, um detailliertere Aussagen über die Zeit nach Korsettbehandlung machen zu können. Ergänzend dazu wird von mehreren Autoren betont, dass die Zeit des Abtrainierens sowie auch danach von einer verstärkten Physiotherapie begleitet sein muss (*Weinstein und Ponseti 1983, Weiss et al. 2003*).

Der Ausgangs- Cobbwinkel bei Erstdiagnose ist bei den thorakalen Primärkrümmungen mit durchschnittlich  $28^{\circ}$  höher als bei den lumbalen Primärkrümmungen mit durchschnittlich  $24^{\circ}$ . Bei den Sekundärkrümmungen fanden wir identische Ergebnisse. In den Bendingaufnahmen zeigte sich eine spontane Korrektur der Cobb- Winkel lumbaler Primärkrümmungen auf durchschnittlich  $7^{\circ}$ , was einer Flexibilität von 70% entspricht. Die spontane Korrektur der Cobb- Winkel thorakaler Primärkrümmungen auf durchschnittlich  $14^{\circ}$  in den Bendingaufnahmen weist eine höhere Rigidität mit einer mittleren Korrektur von 50% auf.

Bei genauerer Betrachtung lässt sich nur bei den lumbalen Primärkrümmungen ein Einfluss der Höhe des Ausgangswinkels auf das Endergebnis feststellen. Dabei lassen sich kleinere Ausgangswinkel unter  $20^{\circ}$  entgegen den Studien über den natürlichen Verlauf idiopathischer Skoliosen signifikant schlechter korrigieren als Ausgangswinkel über  $20^{\circ}$ . Das lässt sich auch aus dem gegenläufigen Zusammenhang zwischen Ausgangswinkel und der Winkeländerung nach Korsetttherapie erkennen, wonach sich höhere Ausgangswinkel durch die Korsetttherapie stärker verbessern als niedrigere Ausgangswinkel. Dies steht, wie schon erwähnt, im Gegensatz zu den Ergebnissen anderer Autoren, die einen hohen Ausgangswinkel mit einer vermehrten Progredienz und einer schlechteren Korrigierbarkeit verbinden (*Lonstein und Carlson 1984, Bunnell 1988, Rogala und Drummond 1978, Landauer et al. 1997, Weinstein 1999, Jonathan et al. 2009, Kim et al. 2009, Wu et al. 2010*). *Tan et al. (2009)* werten den Ausgangs- Cobbwinkel als wichtigstes Vorhersagekriterium bezüglich der Krümmungsprogredienz sowie des Kurvenverhaltens nach Wachstumsabschluss, wobei sie die Grenze zum Erfolg bei einem initialen Cobb- Winkel von  $25^{\circ}$  ziehen.

Bei den thorakalen Primärkrümmungen findet sich hingegen kein Einfluss der Höhe des Ausgangswinkels auf den Endbefund. Auch *Bullmann et al.* fanden keinen Einfluss der Höhe des initialen Cobb- Winkels auf das Korrekturergebnis. Ebenfalls findet sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Ausgangswinkel und Winkeländerung nach Korsettbehandlung. Jedoch ist ein Unterschied zwischen den Endcobb- Winkeln thorakaler und lumbaler Primärkrümmungen nachweisbar. Bei den lumbalen Primärkrümmungen verbessert sich der Cobb- Winkel von durchschnittlich 24,7° vor Korsetttherapie auf 23° nach Korsetttherapie. Bei den thorakalen Primärkrümmungen ändert sich der Cobb- Winkel von durchschnittlich 27,5° bei Erstdiagnose auf 28° nach Korsetttherapie. Betrachtet man zusätzlich die Versagerquoten, findet sich bei einer deutlich höheren Versagerquote der thorakalen Primärkrümmungen von 18/55 trotzdem ein durchschnittlich fast gleich bleibender Endcobb- Winkel von 28°. Daraus ergibt sich, dass sich der Cobb- Winkel der übrigen 37 Patienten stärker verbesserte als bei den lumbalen Primärkrümmungen, welche nur eine Versagerquote von 8/61 aufwiesen, der Endcobb- Winkel sich jedoch auch nur gering um 1,7° verbesserte. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass bei thorakalen Primärkrümmungen die Reduktion des Cobb- Winkels einen stärkeren Einfluss auf die Prognose der Skoliose hat als bei den lumbalen Primärkrümmungen. Ursache dafür kann eine bessere Kraftübertragung von der Pelotte zum Wirbelkörper über den Rippenverlauf sein. Zusätzlich kommt es zu einer fortschreitenden Verknöcherung der Rippen im Verlauf, was die Kraftübertragung ebenfalls positiv beeinflusst. Nach *Matussek et al. (2000)* werden die umkrümmenden Kräfte über die Haut, Unterhaut und andere Weichteile sowie über die Rippen auf die Wirbelsäule übertragen. Dabei ergeben sich Druckbegrenzungen entsprechend der Irritabilität der Haut sowie der variablen Steifigkeit der zwischengeschalteten Gewebe. Die zur Korrektur erforderlichen Kräfte stehen im umgekehrt proportionalen Verhältnis zur Flexibilität und Länge der Krümmung. Thorakale Krümmungen sind häufig langstreckiger und weiter von der Mittellinie ausgelenkt als lumbale Krümmungen. Je flexibler die Wirbelsäule in diesem Bereich ist, umso näher kann sie durch den Pelottendruck an die Mittellinie gebracht werden. Das Korsett sollte so konstruiert sein, dass es die herabhängende Schulter im konkaven Bereich der thorakalen Wirbelsäule anhebt, wodurch ein extendierendes Moment ausgemacht werden kann. Über einen Rotationspunkt wenige Zentimeter über der dorsolateralen Pelotte auf der konvexen Seite wird eine Umkrümmung und eine Extension nach kranial erreicht.



Weiterhin wird das Prinzip der aktiven Inspirationsderotation vor allem im thorakalen Bereich wirksam, indem der Patient durch eine spezifische Atemtechnik aus der Krümmung heraus in Freiräume des Korsetts hinein atmet und damit dem durch die Pelotten bewirkten Druck ausweicht (*Matussek et al. 2000*). Deshalb haben thorakale Primärkrümmungen hinsichtlich der Korrektur des Cobb- Winkels ein größeres Potential.

Betrachtet man zusätzlich noch den Zusammenhang des Ausmaßes der Lotabweichung von C7 zur Rima ani mit dem Winkel der Hauptkrümmung findet sich keine Korrelation dieser beiden Parameter. Auch *von Deimling et al. (1995)* berichtet in seiner Studie über einen fehlenden Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Lotabweichung und dem Cobb- Winkel der Primärkrümmung. Er betont in seinen Ausführungen, dass die Indikation zur Korsettversorgung allein aufgrund einer ausgeprägten Abweichung der Krümmung vom Lot nicht gestellt werden darf. Hingegen wird von *Landauer et al. (1997)* allgemein eine Abweichung des Lotes vom Dornfortsatz C7 zur Rima ani von über 10 mm neben weiteren Faktoren als Progredienzfaktor beschrieben.

Bezüglich der Progredienz in Abhängigkeit von der Lokalisation der Krümmung konnten *James (1954)*, *Ponseti und Friedman (1950)*, *Stagnara und Desbrosses (1960)*, *Lonstein und Carlson (1984)*, *Stremmel et al. (1995)*, *Soucacos et al. (1998)*, *Hopf (2000)* und *Bullmann et al. (2004)* bereits einen Unterschied zugunsten der thorakolumbalen und lumbalen Skoliosen feststellen. Die thorakalen wiesen die stärkste Progredienz auf. *Heine und Reher (1975)* sowie *Wu et al. (2010)* fanden bei Patienten mit kombinierten Skoliosen die größte Zunahme des durchschnittlichen Skoliosewinkels. Bei der Analyse des prognostischen Unterschiedes von thorakalen und lumbalen Primärkrümmungen doppelbogiger Skoliosen gelangen wir zu einem ähnlichen Ergebnis. Der Krümmungstyp zeigt einen deutlichen Einfluss auf das Therapieergebnis. Die thorakalen Primärkrümmungen weisen hier eine stärkere Progredienz auf als die lumbalen Primärkrümmungen. Die Versagerquote (Verschlechterung  $> 5^\circ$ ) liegt bei den thorakalen Primärkrümmungen mit 18/55 (34%) signifikant höher als bei den lumbalen Primärkrümmungen mit 8/61 (13%). King I- Skoliosen lassen sich somit besser behandeln und liefern bessere Endbefunde als King II- Skoliosen. Das ist auf die bessere Flexibilität lumbaler Krümmungen zurückzuführen, da die mit Muskulatur umhüllte Lendenwirbelsäule einen besseren

Bewegungsfreiraum bietet als die weniger flexible Brustwirbelsäule, welche in ihrer Beweglichkeit durch den starren Brustkorb und die Rippenverbindungen eingeschränkt ist und somit eine erhöhte segmentale Steifheit aufweist.

Genauer betrachtet lässt sich die Progredienz nach der Lage des jeweiligen Krümmungsscheitels der Primärkrümmung aufschlüsseln. Hier zeigt sich zunächst vor Korsettversorgung ein Überwiegen der Scheitelwirbel Th 8 und 9 bei den thorakalen Primärkrümmungen und von L1 und 2 bei den lumbalen Primärkrümmungen. Vor allem bei den King I- Skoliosen ist ein Unterschied zugunsten des 1. Lendenwirbels zu erkennen. Hier zeigen sich signifikant bessere Endbefunde als bei einer Scheitelwirbellage unterhalb oder gleich L2. Dies kann mit der besseren Beeinflussbarkeit der Scheitelwirbel- etage L1 durch das Korsett begründet werden, da eine optimale Umkrümmungswirkung auf Scheitelwirbel unterhalb des 2. Lendenwirbels durch den Beckenkamm erschwert wird. Bezüglich der thorakalen Primärkrümmungen fanden *Heine und Reher (1975)* und *Ponseti und Friedman (1950)* die schlechteste Prognose bei Scheitelwirbeln von Th 8 und 9. Auch *Wu et al. (2010)* berichten über schlechtere Ergebnisse je höher der Scheitelwirbel der Krümmung liegt. Schon *Weinstein (1989)* bezeichnete die Form der Krümmung als einen Hauptfaktor für die Prognose der Skoliose, wobei er über eine höhere Tendenz zur Verschlechterung bei kombinierten Skoliosen berichtet. Als Ursache dafür nahm *Götze (1990)* eine Schwachstelle der Wirbelsäulenstatik an, die in einer Schrägstellung der Wirbelsegmente im thorakolumbalen Übergang begründet liegt, da sich hier bei doppelbogigen Skoliosen der Neutralwirbel befindet. Dieser Abschnitt kann bei doppelbogigen Skoliosen wegen der Gegenläufigkeit der Rotation von Brust- und Lendenwirbelsäule durch die Rumpfmuskulatur schlechter stabilisiert werden. Das lässt sich in unserer Datenauswertung nicht nachvollziehen. Es kann zwar kein signifikantes Ergebnis bezüglich der Höhe des Ausgangs- SW auf den Endbefund ermittelt werden, jedoch zeigt sich ein Trend mit überwiegend guten Endergebnissen bei einem Scheitelwirbel von Th 9. Diese Etage zählt zu der oben genannten Schwachstelle.

Während in vielen Studien auf die große Rolle der Rotation des Scheitelwirbels bei Diagnosestellung als prognostisch wichtigstes Kriterium hingewiesen wird, kann dies in unserer Arbeit nicht bestätigt werden. *Mau (1982)* und *Heine (1980)* sehen im Ausmaß der Rotation bei Diagnosestellung einen unmittelbaren Progredienzfaktor.

Auch von *Strempe et al. (1995)* beschreibt den linearen Zusammenhang zwischen der Rotation des Scheitelwirbels zur Zeit der Diagnosestellung und der zu erwartenden Progredienz. Er berichtet über eine Abnahme des Skoliosewinkels bei einer Scheitelwirbelrotation von 15% (nach *Perdriolle*) und einer erheblichen Progredienz des Skoliosewinkels bei einer Rotation von 40%. Im Gegensatz dazu zeigen unsere Daten eine Unabhängigkeit zwischen Ausgangsrotation und Endbefund, sodass wir unser Augenmerk auf die Rotationsänderung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie richteten. Anhand der Analyse der Rotationsänderung des Scheitelwirbels der Primärkrümmungen, gemessen nach *Nash und Moe (1969)*, lässt sich die Progredienz der Skoliose einschätzen. In unseren Ergebnissen wiesen die thorakalen Primärkrümmungen generell eine stärkere Rotationszunahme während bzw. nach Korsetttherapie auf als die lumbalen Primärkrümmungen. Des Weiteren fand sich ein Zusammenhang zwischen der Rotationsänderung des Scheitelwirbels und dem Endbefund der lumbalen Primärkrümmung, wobei Patienten mit gleich bleibender Rotation oder Rotationsabnahme nach Korsetttherapie signifikant bessere Endbefunde aufwiesen als Patienten mit zunehmender Rotation. Bei den thorakalen Primärkrümmungen zeichnete sich ein ähnlicher Effekt ab, welcher jedoch nicht statistisch signifikant und daher nur als Trend zu werten ist ( $p=0,072$ ). Dieses Ergebnis weist auf eine stärkere Triggerfunktion der Rotation bei lumbalen Skoliosen im Vergleich zu thorakalen Krümmungen auf den Endbefund hin.

Auch *Upadhyay et al. (1995)* benennt eine Reduktion der Rotation des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie als prädiktiven Erfolgsfaktor und eine Progredienz der Rotation als Hinweis für ein Therapieversagen. Ähnliche Aussagen werden auch von *Hopf (2000)* gemacht, der die Reduktion der Rotation neben einer ausreichenden Skoliosewinkelkorrektur als wichtigste Faktoren für eine erfolgreiche Orthesentherapie ansieht. *Grivas et al. (2003)* ermittelte die Rotationsänderung an verschiedenen Krümmungstypen nach Verwendung eines modifizierten Boston- Korsetts und fand eine gleich bleibende Rotation in allen Kurventypen außer in den lumbalen Krümmungen. Hier kam es zu einer Rotationsabnahme. Daraus lässt sich ableiten, dass in den lumbalen Krümmungen größere rotatorische Kräfte wirken als in den thorakalen Krümmungen. Diesen kann mit einer optimalen Pelottierung des Korsetts erfolgreich entgegen gewirkt werden, da in der Lendenwirbelsäule durch die Distraction des Rumpfes zwischen Schulterblatt und Beckenkamm sowie durch eine

Derotation des Beckens ein besserer umkrümmender Effekt erzielt, und die Lendenwirbelsäule somit besser modelliert werden kann (*Matussek et al. 2000*). Aus diesen Ergebnissen ist zu schlussfolgern, dass die Reduktion der Scheitelwirbelrotation unter Korsetttherapie bei lumbalen Primärkrümmungen wichtiger ist als bei den thorakalen Primärkrümmungen.

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Änderung des Cobb- Winkels und der Rotationsänderung des Scheitelwirbels nach Korsetttherapie zeigt sich eine lineare Korrelation in beiden Primärkrümmungen. Das bedeutet, je besser der Cobb- Winkel durch die Korsettwirkung reduziert wurde, desto deutlicher zeigte sich auch eine Reduktion der Rotation des Scheitelwirbels. Eine positive Korrelation zwischen Cobb- Winkel und Rotationsausmaß beschreibt auch *Ni et al. (2010)*. Daraus lässt sich erkennen, dass der Cobb- Winkel und die Scheitelwirbelrotation eng miteinander verbunden sind und beim Orthesenbau keinesfalls isoliert, sondern unbedingt gemeinsam berücksichtigt werden müssen.

Die Korrektur der beiden Hauptkrümmungen von durchschnittlich 30% im Korsett für thorakale Hauptkrümmungen und 43% im Korsett für lumbale Hauptkrümmungen beweist zunächst die temporäre Effektivität der Orthese. Der Korrektoreffekt ist dabei abhängig von der Flexibilität der Krümmungen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von *Bullmann et al. (2004)*, zeigten in unserer Studie die lumbalen Primärkrümmungen eine bessere Korrektur im Korsett (43%) als die weniger flexiblen thorakalen Primärkrümmungen (30%). Im Gegensatz dazu berichtet *van Rhijn et al. (2002)* in seinen Untersuchungen, dass die lumbalen Krümmungen trotz besserer Flexibilität im Korsett schlechter korrigierbar waren. Auch in unseren Ergebnissen, hinsichtlich der Flexibilität der jeweiligen Primärkrümmung, bestätigt sich der Einfluss des Bendings vor Korsetttherapie als Maß für die Flexibilität auf den Endbefund, wobei sich lumbale Primärkrümmungen mit einer Reduktion des Cobb- Winkels um durchschnittlich 17,2° bei einem Durchschnitts- Ausgangswinkel von 25° besser korrigieren lassen als thorakale Primärkrümmungen. Diese weisen mit durchschnittlich 15° Cobb- Winkelreduktion bei einem Durchschnitts- Ausgangswinkel von 28° eine schlechtere Flexibilität und somit auch insgesamt schlechtere Endbefunde auf als die lumbalen Hauptkrümmungen. Jedoch bestätigt sich in beiden Primärkrümmungen der positive Einfluss der Flexibilität auf den Endbefund, welcher bei den lumbalen stärker ausgeprägt ist als bei den thorakalen Primärkrümmungen. Aufgrund ihrer höheren

Flexibilität sprechen diese Krümmungen besser auf die Korsetttherapie an als fixierte Krümmungen und haben damit eine günstigere Prognose. Im Gegensatz dazu lässt sich die Progredienz bei Patienten mit vorwiegend fixierten Wirbelsäulenabschnitten durch eine Korsetttherapie im Regelfall kaum aufhalten und es werden häufig Cobb-Winkel über 40 bzw. 50° erreicht, was eine Indikation zur operativen Therapie darstellt (*Krismer et al. 2002*). Dies kann durch unsere Ergebnisse bezüglich der Primärkorrektur im Korsett weiter untermauert werden. Wir konnten in Anlehnung an die durchschnittliche Korrektur des Cobb-Winkels im Korsett für beide Primärkrümmungen einen Einfluss der Erstkorrektur im Korsett auf den Endbefund ermitteln. Hierbei zeigte sich, dass bei den lumbalen Primärkrümmungen eine Primärkorrektur von 40% für einen guten Endbefund notwendig ist. Bei den thorakalen Primärkrümmungen war jedoch schon eine Primärkorrektur von 30% im Korsett ausreichend für gute Endbefunde. Analog zu diesen Ergebnissen fordern viele Autoren eine möglichst hohe Primärkorrektur, wobei die Angaben über die genaue Höhe schwanken. Nach *Chêneau (1997)* sollte eine initiale Korrektur durch das Korsett von 50% gegenüber dem Ausgangswinkel angestrebt werden. Auch *Carlson und Winter (1999)* geben als Voraussetzung für einen Therapieerfolg eine Primärkorrektur von 50% an. *Hopf (2000)* legt das Therapieziel auf eine Korrektur der Krümmung im Korsett von 30-50% innerhalb von 3 Monaten fest. Das Versagen der Korsettbehandlung bei primär unzureichender Korrektur wird von *Noonan et al. (1996)* beschrieben. Auch *Landauer (2002, 2005)* konnte bei einer Primärkorrektur von mindestens 40% und guter Compliance eine Verbesserung des Endbefundes ermitteln, wogegen er bei einer schlechten Primärkorrektur von <40% trotz guter Compliance keine anhaltende Befundverbesserung feststellen konnte. Weiterhin betrachtet er eine Primärkorrektur von unter einem Drittel des Ausgangs-Cobbwinkels als Abbruchkriterium (*Landauer 2007*). *Böni et al. (2002)* misst einer hohen Primärkorrektur ebenfalls eine günstige Prognose bei, wobei er betont, dass Korrekturen von 50% nur bei flexiblen Krümmungen erzielt werden können, bei rigideren Krümmungen jedoch eine Korrektur von 20-30% eher realistisch erscheint. *Weiss und Rigo (2008)* betonen ebenfalls die Rolle der Winkelkorrektur im Korsett und der Compliance als Voraussetzung für einen Behandlungserfolg. Dabei lassen sich thorakale Hauptkrümmungen von unter 50° am besten mit dem neuesten Chêneaukorsett in allen 3 Raumebenen korrigieren. Thorakale Krümmungen von über 50° fordern eine stärkere Kraftwirkung von dorsal mit subclavikulären Pelotten auf der

ventralen Gegenseite, auch wenn dies auf Kosten der sagittalen Korrektur geht. Nach *Weiss und Rigo (2008)* ist die Höhe der Primärkorrektur im Korsett ein Beweis für eine gute Korsett Wirkung.

Damit lässt sich der Zusammenhang zwischen guter Primärkorrektur und dem Endergebnis belegen. Der Behandler sollte daher Wert auf eine hohe Primärkorrektur in den Kontrollaufnahmen mit Korsett legen. Der kritische Wert scheint hier zwischen 30 und 40% Primärkorrektur im Korsett zum Cobb- Winkel vor Korsettbehandlung zu liegen.

Betrachtet man den Einfluss der Winkelkorrektur im Korsett während der Korsetttragedauer auf den Endbefund so zeigen sich auch hier bei einem guten Winkelkorrekturverlauf in Bezug auf die Erst- und Endkorrektur im Korsett bessere Endbefunde. Daraus lässt sich ableiten, dass sich schlechte Endbefunde in beiden Primärkrümmungen durch einen schlechten Korrekturverlauf im Korsett andeuten. Ist trotz mehrfacher Korsettkorrekturen kein besseres Ergebnis zu erzielen, so muss die Weiterführung der Therapie kritisch hinterfragt und gegebenenfalls andere Therapieoptionen (Operation) in Betracht gezogen werden, um eine optimale Therapie zu gewährleisten. Dabei sollte mit der Entscheidung zum Therapieabbruch nicht zu lange gewartet werden. Somit stellt der Korrekturverlauf im Korsett einen wichtigen Anhaltspunkt für den Zeitpunkt des Therapiewechsels dar. Dieser muss jedoch auch unter Berücksichtigung weiterer Gesichtspunkte bei jedem Patienten individuell bestimmt werden.

Die unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich Flexibilität und Primärkorrektur der beiden Primärkrümmungen lassen sich durch die Analyse des durchschnittlichen Korrekturverlaufs im Korsett in Bezug zum jeweiligen Lebensalter noch genauer aufschlüsseln. Als Ausgangspunkt wurde der Cobb- Winkel zur Zeit der Diagnosestellung unmittelbar vor Korsettversorgung gewählt. Die Korrekturkurve folgt bei den lumbalen Primärkrümmungen etwa einer Normalverteilungskurve, wobei das größte Korrekturpotential zur Zeit des präpubertären Wachstumsschubes im 11.-13. Lebensjahr mit durchschnittlichen Korrekturwerten von 12-15° pro Jahr besteht. Vor dem 11. Lebensjahr und nach dem 13. Lebensjahr nehmen diese Werte stetig ab und bewegen sich in einem Rahmen zwischen 7-12° Korrektur pro Jahr. Bei den thorakalen Primärkrümmungen findet sich das größte Korrekturpotential kurz nach

Beginn der Korsettbehandlung im 6.-8. Lebensjahr, was mit der hohen Elastizität des Thorax und der noch „weichen“ Brustkorbarchitektur zu erklären ist. Ab dem 9. Lebensjahr bewegt sich die Korrekturkurve im Korsett auf einem niedrigen aber konstanten Niveau bei durchschnittlichen Korrekturwerten zwischen 8-10° pro Jahr. Im Gegensatz dazu beschreibt *Meurer et al. (1994)* bei den Thorakalskoliosen eine besonders starke jährliche Progredienz zum Zeitpunkt des präpubertären Wachstumsschubes zwischen dem 11. und 13. Lebensjahr, dies entspricht unseren Ergebnissen für lumbale Primärkrümmungen. Allgemein betrachtet haben Korsette nach mehrjähriger Therapiedauer eine geringere Wirksamkeit als zu Beginn der Behandlung. Dafür können mehrere Ursachen eine Erklärung liefern. Ein Grund ist das Erreichen des Endes der Wachstumsphase und die damit verbundene zunehmende Strukturierung der Wirbelsäule. Weiterhin wird durch eine dauerhafte Korsetttherapie die Rigidität der Wirbelsäule erhöht und die Beweglichkeit somit geringer. Der Pelottendruck kann dann weniger Einfluss auf die Wirbelkörper nehmen. Ebenfalls spielen Complianceprobleme und eine mangelnde Physiotherapie insbesondere während der Pubertät eine Rolle, da es im Zusammenhang mit dem Wachstumsschub oft zusätzlich zu einer vorübergehenden Rigidität der Wirbelsäule kommt. Dies wird auch als pubertäre Steife bezeichnet. Von großer Bedeutung sind auch ästhetische Probleme, welche durch einen vermehrten psychischen Druck seitens des sozialen Umfeldes das Therapieergebnis gefährden können.

In diesem Zusammenhang soll noch erwähnt werden, dass in beiden Primärkrümmungen ein linearer Zusammenhang zwischen der Höhe des Ausgangswinkels und dem Winkel der Erstkorrektur im Korsett nachzuweisen war, wobei höhere Ausgangswinkel eine stärkere Primärkorrektur im Korsett aufwiesen als geringere Ausgangswinkel. Dies steht im Gegensatz zu den Angaben anderer Autoren, welche eine Abnahme des Korrektureffektes im Korsett mit steigendem Ausgangswinkel beschreiben (*Weiss et al. 2003, Hopf 2000*). Nach unseren Ergebnissen kann somit nicht grundsätzlich von einer Koinzidenz der Strukturiertheit der Wirbelsäule und einer hohen Progredienz ausgegangen werden, da auch bei hohen Ausgangswinkeln in beiden Primärkrümmungen eine gute Korsettwirkung zu verzeichnen ist. Weiterhin zeigt sich in unseren Daten kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe der Ausgangswinkels und dem Endbefund vor allem bei den thorakalen Primärkrümmungen. Daraus ergibt sich, dass eine stark fixierte Wirbelsäule bei hohen Ausgangswinkeln eher selten ist. Skoliosen mit hohen

Ausgangswinkeln sollten bei guter Korrigierbarkeit sowie aufgrund ihres hohen Progredienzrisikos orthetisch versorgt und engmaschig kontrolliert werden.

Die Verschiebung der Scheitelwirbeletage der jeweiligen Hauptkrümmung im Korsett im Vergleich zum Ausgangs- Scheitelwirbel sowie die Verschiebung der Scheitelwirbeletage nach Korsetttherapie in Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel geben weitere Hinweise für die Effizienz der Korsetttherapie. Generell weisen lumbale Hauptkrümmungen ein geringeres Veränderungspotential des Scheitelwirbels auf als thorakale Hauptkrümmungen. Dies kann mit der Tatsache erklärt werden, dass thorakale Hauptkrümmungen oft langstreckiger und weiter von der Mittellinie entfernt sind als die lumbalen, sodass eine Balanceänderung der Krümmung mit Verschiebung der Scheitelwirbeletage eher stattfindet als bei den kurzstreckigeren lumbalen Hauptkrümmungen. Analysiert man nun die Änderung der Scheitelwirbeletage beider Hauptkrümmungen im Korsett im Bezug zum Ausgangs- Scheitelwirbel zeigen sich gute Endbefunde, wenn sich der Scheitelwirbel nach cranial verschiebt und die Krümmung somit extendiert wird. Verschiebt sich die Scheitelwirbeletage jedoch nach caudal resultieren überwiegend schlechte Endbefunde, da es hier zu einer Einstauchung der Krümmung mit weiterer Progredienz der Seitabweichung und der Rotation kommt. Bleibt eine Verschiebung der Scheitelwirbeletage aus, finden sich ebenfalls überwiegend schlechte Endbefunde, was wiederum mit einer erhöhten Rigidität dieser Wirbelsäulenabschnitte und damit einer geringeren Beeinflussbarkeit der Krümmung zu erklären ist. Die Änderung der Scheitelwirbeletage im Korsett ist bereits in den Bendingaufnahmen vor Korsetttherapie sichtbar, wobei sich in unseren Daten in den lumbalen Primärkrümmungen zu 85% und in den thorakalen zu 71% eine Übereinstimmung bezüglich der Verschiebung der Scheitelwirbeletage fand. Somit kann die Analyse der Verschiebung der Scheitelwirbeletage bereits in den Bendingaufnahmen einen Hinweis für die Progredienz der Krümmung liefern. Ebenfalls könnte durch Berücksichtigung der jeweiligen Scheitelwirbelverschiebung während der Orthesenbehandlung die Korsettwirkung orthopädiotechnisch weiter optimiert werden.

Nach Korsetttherapie ließ sich bei den lumbalen Primärkrümmungen kein signifikanter Einfluss der Verschiebung der Scheitelwirbeletage auf den Endbefund nachweisen. Die thorakalen Primärkrümmungen zeigten hingegen bessere Endbefunde bei einer gleich bleibenden Scheitelwirbeletage sowie bei Verschiebung des Scheitelwirbels



nach cranial. VerschoB sich die Scheitelwirbeletage nach caudal resultierten überwiegend schlechte Endbefunde. In der Literatur finden sich nur wenige Studien, die die Änderung der Scheitelwirbeletage während oder nach Korsetttherapie berücksichtigen. Lediglich *Chêneau (1993)* erachtete eine Verschiebung der Scheitelwirbeletage um eine Etage nach cranial ebenfalls als günstig für den Endbefund. Er unternahm jedoch keine Trennung nach den Krümmungstypen.

Aus unseren Daten lässt sich schlussfolgern, dass die Verschiebung der Scheitelwirbeletage unter Korsetttherapie bei den thorakalen Primärkrümmungen für die Progredienz eine größere Rolle spielt als bei den lumbalen Primärkrümmungen.

Um eine Änderung der Scheitelwirbeletage durch die Korsettbehandlung zu erzielen, sollte man analysieren, wovon eine Verschiebung der Scheitelwirbeletage abhängt. Ein wesentliches Kriterium ist dabei der Pelottendruck sowie die Platzierung der Pelotte und die Richtung der einwirkenden Kraft. Aus unseren Daten lässt sich der Einfluss des Pelottensitzes auf den Endbefund deutlich erkennen. In beiden Primärkrümmungen zeigen sich signifikant bessere Endbefunde, wenn die Pelotte um einen halben bis einen Wirbelkörper caudal des Scheitelwirbel sitzt, wobei man den Pelottensitz auf den horizontal dazu gelegenen Wirbelkörper in der Krümmung projiziert. Auch *Peterson und John (1984)* sehen eine bessere Korsettwirkung bei einem Pelottensitz unterhalb des Scheitelpunktes der Krümmung. Diese Ergebnisse widerlegen teilweise die Angaben von *Chêneau (1993)*, welcher der Auffassung ist, dass die Pelotte bei lumbalen Krümmungen in Höhe des Scheitelwirbels, also direkt auf dem Rippenbuckel, liegen muss um eine Befundbesserung zu erreichen und um den Scheitelwirbel um eine Etage nach cranial verschieben zu können. Nach seiner Theorie würde ein unterhalb des Scheitelpunktes applizierter Druck den vorderen Rippenbuckel verstärken. Unsere Ergebnisse belegen jedoch, dass die Pelotte in beiden Primärkrümmungen etwas unterhalb des Scheitelwirbels sitzen sollte, da so eine optimale aufrichtende Wirkung erzielt werden kann und sich die Scheitelwirbeletage besser nach cranial verschieben lässt. Bei der Konstruktion der Korsette sollte deshalb der Lage der Pelotten und ihrem Verhältnis zum Scheitelwirbel der jeweiligen Hauptkrümmung besondere Beachtung geschenkt werden. Eine Besonderheit bietet der thorakale Pelottensitz, da dieser über den Rippenverlauf eine zusätzliche Wirkung auf den Scheitelwirbel und die Krümmung hat. Bisher wurde angenommen, dass sich ein Pelottendruck im Verlauf der Rippe des Scheitelwirbels positiver auf den Endbefund auswirkt, als ein Druck auf den Apex des Rippenbuckels.

Wir konnten in unseren Ergebnissen ermitteln, dass nicht nur Patienten mit einem Pelottendruck im Verlauf der Rippe des Scheitelwirbels signifikant bessere Endbefunde zeigen, sondern dass auch eine Wirkung der Pelotte über die Rippen auf den Wirbelkörper unterhalb des Scheitelwirbels gute Endbefunde erbringt. Wirkt die Pelottenkraft jedoch über den Rippenverlauf auf einen Wirbelkörper oberhalb des Scheitelwirbels finden sich überwiegend schlechte Endbefunde. Dies ist damit zu erklären, dass bei einer Pelottenkraftwirkung über die Rippen direkt auf den Scheitelwirbel oder einen Wirbelkörper darunter die Krümmung nach „oben“ geschoben und somit extendiert wird, hingegen bei einer Pelottenkraftwirkung über die Rippen auf einen Wirbelkörper oberhalb des Scheitelwirbels die Krümmung nach „unten“ in die Konkavität gestaucht wird. Aufgrund dieses Effektes der Rippen sowie der unterschiedlichen Anzahl der einbezogenen Wirbel findet sich bei thorakalen Primärkrümmungen häufiger eine Änderung der Scheitelwirbelektage als bei den lumbalen Primärkrümmungen.

In vielen Studien wird der Rippenbuckel als klinischer Ausdruck der Rotation gewertet (*Chéneau 1993, Landauer et al. 1997, Hefti 1998*). Auch wir fanden in unseren Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Rippenbuckels und dem Ausmaß der Rotation des thorakalen Scheitelwirbels. Demnach zeigte sich bei ausgeprägteren Rippenbuckeln von mehreren Zentimetern eine stärkere Rotation des thorakalen Scheitelwirbels. Das Ausmaß des Rippenbuckels eignet sich somit als Erfolgskontrolle der Korsetttherapie im Hinblick auf die Reduktion der thorakalen Scheitelwirbelrotation.

Dabei ist zu beachten, dass die verschiedenen Wirbelsäulenabschnitte ein unterschiedliches Rotationsverhalten aufweisen. Das physiologische Rotationsausmaß beträgt in der oberen Brustwirbelsäule 9° pro Segment und nimmt nach caudal hin bis auf 2° in der Lendenwirbelsäule ab (*Cochrane et al. 1990*). Dies muss beim Bau der Orthese berücksichtigt werden (*Rexing und Büsch 1990*). Die tatsächliche Primärkrümmung, in der die Fixierung der Wirbelsegmente höher ist, wird manchmal nicht als solche erkannt und kann beim Korsettbau eine Fehlerquelle darstellen. Weiterhin muss auf eine ausreichende Aufrichtung der lumbalen Lordose mit einer guten Extension durch das Korsett geachtet werden. Die Lordosierung fixiert zusätzlich die Rotation durch eine Stauchung der kleinen Wirbelgelenke. Durch eine gute Entlordosierung werden diese kleinen Wirbelgelenke sowie die konkavseitige

Muskulatur gedehnt, ihre Flexibilität erhöht sich und schafft damit die Voraussetzung für eine gute Korsett Wirkung. Auch im thorakalen Bereich kommt dem Korsettaufbau eine erhebliche Bedeutung zu, da auch hier der häufig bestehende Flachrücken nicht weiter verstärkt werden darf (*Landauer et al. 1997*). Diese Forderung konnte sich in unseren Ergebnissen nicht bestätigen. Wir fanden keinen negativen Einfluss eines vorhandenen Flachrückens.

Ein negativer Trend zeigt sich bezüglich des Vorhandenseins einer Anteflexionsstörung sowie einer muskulären Insuffizienz auf den Endbefund. Dabei ist jedoch eine Anteflexionsstörung als eine unzureichende Kyphosierungsfähigkeit einer vermehrten Lordosierung der Krümmung definiert. Diese Ergebnisse unserer Untersuchung sind aufgrund der variablen klinischen Angaben in den Patientenunterlagen und der teilweise unterschiedlichen Untersucher zum Zeitpunkt der Diagnosestellung nicht zu 100% verwertbar. Gegenwärtig ist der Einfluss eines pathologischen Sagittalprofils der Wirbelsäule noch nicht vollständig geklärt. Nach *Carlson und Winter (1999)* sollte die ideale Orthese die Bildung oder Verschlimmerung einer thorakalen Lordose, also eines Flachrückens, vermeiden. *Hopf (2000)* betrachtet eine pathologische Wirbelsäulendeformierung im Sinne einer Lordosierung der Brustwirbelsäule bei Thorakalskoliosen verbunden mit einer erheblichen Wirbelkörperrotation als prädiktiven Faktor einer zu erwartenden Krümmungsprogredienz. Auch *Matussek et al. (2000)* weist darauf hin, dass sich eine unzureichende Aufrichtung der thorakalen Lordose ungünstig auf die Prognose der Krümmung in der Frontalebene auswirkt. *Ni et al. (2010)* berichten jedoch über eine Krümmungsprogredienz bei zunehmender Kyphosierung, welche mit einem zunehmenden Rotationsausmaß der Wirbelkörper verbunden ist. *Bullmann et al. (2004)* fanden unter Korsetttherapie eine Abflachung des sagittalen Profils um 38%, welche nach Korsetttherapie wieder annähernd dem Ausgangswert entsprachen.

Hingegen konnte *Schmitz et al. (2002)* in einer kernspintomographischen Studie zur Korsett Wirkung in der Sagittalebene keinen Korrektoreffekt auf die lordotische Einstellung der thorakalen Deformität bei gleichzeitiger Korrektur der lateralen Krümmung nachweisen.

Nach den oben genannten Ergebnissen scheint eine mangelnde Korsett Wirkung auf die für die jeweilige Primärkrümmung entscheidenden Parameter ein wichtiger Progredienzfaktor zu sein. Ein direkter Zusammenhang von Korsett Wirkung und

Progredienz konnte in den bereits erläuterten Abschnitten nachgewiesen werden. Auch *Peterson und Nachemson (1995)* fanden bei Patienten mit erfolgreicher Korsettbehandlung eine initial bessere Wirksamkeit des Korsetts. Eine gute Korsettwirkung unter Berücksichtigung der jeweiligen Parameter zu Beginn des größten Wachstumsschubes gewährleistet somit ein gutes Ansprechen der Krümmung auf die Therapie und mündet in einer geringeren Progredienz. Ein Therapieerfolg setzt natürlich ebenfalls die Kontrolle der verschiedenen Parameter mit der Passgenauigkeit des Korsetts im Verlauf voraus. Die Präferenzwirkung der Rotation bei den lumbalen Primärkrümmungen und der Höhe des Cobb- Winkels bei den thorakalen Primärkrümmungen sollte dabei unbedingt berücksichtigt werden.

Letztendlich erfordert eine optimale Korrektur der Krümmung eine mehrdimensionale Vorstellungskraft und Planung, die neben der individuellen Krümmungsart und des Kurventyps auch die zukünftige Entwicklung der Wirbelsäule im Rahmen des Wachstumsprozesses und als Reaktion auf die Korrektur berücksichtigen muss. Des Weiteren ist die Mitarbeit des ganzen Behandlungskollektives, also des Patienten, der Eltern, Freunde, der Ärzte sowie der Techniker und Physiotherapeuten gefordert, da jeder einzelne ein integraler Bestandteil des Therapiekonzeptes ist und dies vielleicht den Schlüssel des Erfolges darstellt, um eine Krümmungsprogredienz sowie operative Korrektur zu verhindern.

## **6. Zusammenfassung**

**Hintergrund:** Für Patienten, welche an einer idiopathischen Skoliose leiden, stellt die Korsetttherapie bei korrekter Indikationsstellung eine effektive Behandlungsmethode dar. Die Wirksamkeit der Korsetttherapie ist seit Jahrzehnten in einer Vielzahl von Studien untersucht und nachgewiesen. Dennoch gibt es derzeit noch viele unterschiedliche Ansichten über den Nutzen der Korsettbehandlung, die einzelnen Korsettwirkungen und vermutete Risikofaktoren für die Progredienz der Skoliose, da es international keine einheitliche Behandlungsstrategie gibt. Der Verlauf der Skoliose unter Korsetttherapie muss weiter erforscht werden, um mögliche Parameter zu finden, welche zur Verlaufskontrolle und Qualitätssicherung herangezogen werden können.

**Ziele:** In dieser Arbeit wurden die Daten von 116 Patienten mit idiopathischer Skoliose vor Korsetttherapie, während und nach Abschluss der Korsetttherapie bezüglich der Korsettwirksamkeit untersucht. Dabei sollte herausgefunden werden, ob es für Patienten mit lumbaler und thorakaler Hauptkrümmung unterschiedliche Ansätze in der Korsetttherapie gibt. Weiterhin sollte der Frage nachgegangen werden, ob es spezielle Kriterien gibt, die eine Prognose über den Verlauf der idiopathischen Skoliose unter Korsetttherapie zulassen. Es sollten also Faktoren, welche für eine Progredienz der Skoliose unter Korsetttherapie sprechen, ermittelt werden, um somit über Entscheidungsparameter für eine effizientere Korsettbehandlung mit optimaler Passform des Korsettes für eine erfolgreiche Therapie zu verfügen.

**Patienten und Methoden:** Die verwendeten Daten und Röntgenaufnahmen stammen aus der orthopädischen Klinik in Eisenberg. Die Aufnahmekriterien waren durch eine idiopathische doppelbogige Skoliose mit entsprechend ausgeprägter Primärkrümmung, einen Ausgangs- Cobbwinkel ab 10°, eine Korsettversorgung von mindestens 1,5 Jahren Dauer, eine Progredienz von mindestens 5° während des letzten Jahres vor Korsettbehandlung und ein vorhandenes Wachstumspotential mit einem Risserstadium zwischen 0 und 3, definiert. Alle Patienten wurden mit einem Chêneaukorsett behandelt. Es wurde von jedem Patienten ein Ausgangsbefund vor Korsettbehandlung mit Ermittlung der klinischen Daten sowie der radiologischen Parameter erstellt. Bei jedem Patienten wurden chronologisch an jedem Röntgenbild

vor, während und nach Korsettbehandlung die radiologischen Daten ermittelt. Die Patienten wurden entsprechend der Primärkrümmung in 2 Gruppen unterteilt, King 1 für lumbale und King 2 für thorakale Primärkrümmungen.

**Ergebnisse:** Die Auswertung zeigte richtungsweisende Progredienzkriterien für thorakale und lumbale Skoliosen auf. Risikofaktoren für ein Therapieversagen sind laut unseren Ergebnissen die Zugehörigkeit zum männlichen Geschlecht, ein junges Alter mit unreifem Skelett, das Vorliegen einer thorakalen Primärkrümmung, eine zu frühe Korsettabschulung, eine schlechte Primärkorrektur unter 30% thorakal und 40% lumbal und ein schlechter Korrekturverlauf im Korsett. Die initiale Ausprägung der Krümmung spielte vor allem bei den lumbalen Skoliosen eine Rolle, wobei sich kleinere Ausgangswinkel schlechter korrigieren ließen als größere. Thorakale Scheitelwirbel in Höhe Th9 und lumbal bei L1 erwiesen sich als günstiger gegenüber den restlichen Wirbeletagen. Bei thorakalen Primärkrümmungen sollte vorwiegend eine Korrektur des Cobb- Winkels durch das Korsett erzielt werden, hingegen sollte bei den lumbalen eher die Rotation reduziert werden. Ein freies Bending sowie ein Pelottensitz etwas unterhalb des Scheitelwirbels mit einer Verschiebung der Scheitelwirbeletage nach cranial gewährleistet in beiden Primärkrümmungen einen Therapieerfolg. Eine optimale Umkrümmungswirkung über den Rippenverlauf wird durch eine Pelotte lateral in Höhe des Rippenbogens genau auf den Scheitelwirbel oder 1 Wirbelkörper darunter erzielt. Die durchschnittlichen Korrekturverläufe im Korsett im jeweiligen Lebensalter sind für beide Primärkrümmungen völlig unterschiedlich und bieten somit verschiedene Therapieansätze für die Orthese.

**Schlussfolgerungen:** Eine Korsettlangzeittherapie kann nachgewiesenermaßen die Progredienz der idiopathischen Skoliose aufhalten und das Risiko einer operativen Korrektur der Wirbelsäule reduzieren. In unserer Studie wird die Bedeutung eines individuellen Therapieansatzes entsprechend der Krümmungstypen deutlich. Es gilt dabei ständig den ganzen Patienten im Auge zu haben und sich nicht nur auf einzelne Faktoren der Krümmung zu beschränken, um jedem Patienten eine optimale Therapie zu ermöglichen und durch ein passgenaues und auf die jeweiligen Progredienzfaktoren abgestimmtes Korsett eine höchstmögliche Effizienz zu erreichen. Dies ist eine komplexe Aufgabe und fordert nicht nur die Behandler, sondern gleichermaßen auch den Patienten.

## **7. Literatur- und Quellenverzeichnis**

### **7.1 Quellen**

Friedrich Schiller Universität Jena:

- Röntgenarchiv des Lehrstuhls für Orthopädie im „Rudolf-Elle“ Waldkrankenhaus Eisenberg, Kinderorthopädie
- Aktenarchiv und elektronische Patientendaten des Lehrstuhls für Orthopädie, Kinderorthopädie

### **7.2 Literatur**

Allington NJ, Bowen JR. 1996. Adolescent idiopathic scoliosis: treatment with the Wilmington brace. J Bone Joint Surgery, 78 (Am): 1056- 1062.

Archer A, Dickson RA. 1985. Stature and idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surgery, 67 (Br): 185-188.

Ascani E, Bartolozzi P, Logroscino CA, Marchetti PG, Ponte A, Savini R, Travaglini F, Binazzi R, Di Silvestre M. 1986. Natural history of untreated idiopathic scoliosis after skeletal maturity. Spine, 11: 784- 789.

Blount WP, Schmidt AC, Bidwell RG. 1958. Making the Milwaukee brace. J Bone Joint Surg (Am), 40: 523-530.

Böni T, Min K, Hefti F. 2002. Idiopathische Skoliose und Scheuermann- Kyphose. Historische und aktuelle Aspekte der konservativen Behandlung. Der Orthopäde, 1: 11- 25.

Buckup K. 2001. Kinderorthopädie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 2. Aufl.: 62-74.

Bullmann V, Halm HF, Lerner T, Lepsien U, Hackenberg L, Liljenqvist U. 2004. Prospektive Untersuchung zur Korsettbehandlung bei idiopathischen Skoliosen. Z Orthop, 142: 403-409.

Bunnell WP. 1988. The natural history of idiopathic scoliosis. Clin Orthop and Rel Res, 229: 20- 25.

Brooks HL, Azen SP, Gerberg E, Brooks R, Chan L. 1975. Scoliosis: A prospective epidemiological study. J Bone Joint Surg (Am), 57: 968- 972.

Byrd JA. 1988. Current Theories on the Etiology of Idiopathic Scoliosis. Clin Orthop, 229: 114- 119.

Carlson JM, Winter RB. 1999. Biomechanik und Orthesenmodelle für die optimale Versorgung mit idiopathischer Skoliose. Orthop Technik, 1: 13- 21.

Castro WHM, Jerosch J. 1996. Orthopädisch-traumatologische Wirbelsäulendiagnostik und Beckendiagnostik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Chêneau J. 1993. Das Cheneau- Korsett, Behandlung der Skoliose bei üblicher Indikation der Orthese. Verlag Orthopädie- Technik, Dortmund, 35-36.

Chêneau J. 1997. Das Original Cheneau- Korsett. Verlag Orthopädie- Technik, Dortmund.

Cochrane GVB, Otte P, Schlegel KF. 1988. Orthopädische Biomechanik. Bücherei der Orthopäden Band 51, Stuttgart: Ferdinand- Enke- Verlag, 172- 173.

Cobb JR. 1948. Outline for the study of scoliosis. In: Arbor A, Edward JW, Editors. Instruct Course Lect of the Am Acad Of Orthop Surg. Michigan, 5: 261-275.

Coillard C, Leroux M, Zabjek K, Rivard C. 2003. SpineCor – a non rigid brace for the treatment of idiopathic scoliosis: post-treatment results. Eur Spine J, 12: 141-148.

Coillard C, Vachon V, Circo AB, Beausejour M, Rivard CH. 2007. Effectiveness of SpineCor brace based on the new standardized criteria proposed by the scoliosis research society for adolescent idiopathic scoliosis. J Pediatr Orthop, 27: 375-379.

Collis DK, Ponseti JV. 1969. Long term follow up of patients with idiopathic scoliosis not treated surgically. J Bone Joint Surg (Am), 51: 425.

Cruickshank JL, Koike M, Dickson RA. 1989. Curve patterns in idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surgery (Br), 71: 259- 263.

Danielsson AJ, Wiklund I, Pehrsson K, Nachemson AL. 2001. Health- related quality of life in patients with adolescent scoliosis: a matched follow up at least 20 years after treatment with brace or surgery. Eur Spine J, 10: 278- 288.

Deacon P, Archer IA, Dickson RA. 1987. The anatomy of spinal deformity: a biomechanical analysis. Orthopaedics, 10: 897- 903.

Dhar D, Dangerfield PH, Dorgan JC, Klenerman L. 1993. Correlation between bone age and Risser`s sign in adolescent idiopathic scoliosis. Spine, 18: 14- 19.

Dickson RA. 1980. School screening for scoliosis: cohort study of clinical course. Br Med J, 289: 265- 267.

Dickson RA, Lawton JO, Archer A, Butt WP. 1984. The pathogenesis of idiopathic scoliosis. Biplanar spinal asymmetry. J Bone Joint Surgery (Br), 66: 8- 15.

Dimeglio A. 2001. Growth in pediatric orthopaedics. J Pediatr Orthop, 21: 549-555.

Dohin B, Dubousset JF. 1994. Prevention of the crankshaft phenomenon with anterior spinal epiphysiodesis in surgical treatment of severe scoliosis of the younger patient. Eur Spine J, 3: 165- 168.

Dubousset J, Herring JA, Shufflebarger H. 1989. The crankshaft phenomenon. J Pediatr Orthop, 9: 540- 550.

Ebenbichler G, Liederer A, Lack W. 1994. Die Skoliose und ihre konservativen Behandlungsmöglichkeiten. Wien Med Wochensh, 144: 593- 604.

Emans JB, Kaelin A, Bancel P, Hall JE, Miller ME. 1986. The Boston Bracing System for Idiopathic Scoliosis – Follow up Results in 295 patients. Spine, 11: 792- 801.

Escalada F, Marco E, Duarte E, Ma Muniesa J, Boza R, Tejero M, Cáceres E. 2009. Assessment of angle velocity in girls with idiopathic scoliosis. Scoliosis, 16: 4-20.



- Federico DJ, Renshaw TS. 1990. Results of Treatment of Idiopathic Scoliosis with the Charleston Bending Orthosis. *Spine*, 15: 886- 887.
- Focarile FA, Bonaldi AG, Giarolo MA, Ferrari U, Zilioli E, Ottaviani C. 1991. Effectiveness of nonsurgical treatment for idiopathic scoliosis. *Spine*, 16: 395- 401.
- Franz R. 1996. Indikationen für Korsett und Operation bei Skoliose. *Z Orthop.* 134/5: Oa12-14.
- Galen C, Leoniceno N, Hrsg. 1537. *De motu musculorum libri duo*. Paris: Wechsel- Verlag.
- Geiger F, Rauschmann M. 2009. Dynamische Verfahren bei der juvenilen Skoliose. *Der Orthopäde*, 2: 122-130.
- Goldstein LA, Waught TR. 1973. Classification and terminology of scoliosis. *Clin Orthop*, 111: 737-743.
- Götze HG. 1984. Die Behandlung der Skoliose. *Therapiewoche*, 34: 6790- 6799.
- Götze HG. 1990. Klinik der Skoliose, in: Witt A, Rettig H, Schlegel KF: *Orthopädie in Praxis und Klinik*, Band 5, Stuttgart 1990, 7.76-7.119.
- Green NE. 1986. Part-time bracing of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surgery*, 68 (Am): 738- 742.
- Grivas TB, Vasiliadis E, Chatziargiropoulos T, Polyzois VD, Gatos K. 2003. The effect of a modified Boston brace with anti-rotatory blades on the progression of curves in idiopathic scoliosis. *Pediatr Rehabil*, 6: 237-242.
- Grivas TB, Rodopoulos GI, Bardakos NV. 2008. Night-time braces for treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 3(3): 120-129.
- Guo X, Chau WW, Chan YL, Cheng JCY. 2003. Relative anterior spinal overgrowth in adolescent idiopathic scoliosis. Results of disproportionate endochondral-membranous bone growth. *J Bone Joint Surg (Br)*, 85: 1026- 1031.
- Halm H, Niemeyer T, Link T, Liljenqvist U. 2000. Segmental pedicle screw instrumentation in idiopathic thoracolumbar and lumbar scoliosis. *Eur Spine J*, 9: 191-197.
- Halm H, Richter A, Thomsen B, Köszegvary M, Ahrens M, Quante M. 2009. Ventrale Skolioseoperationen – Stand der Technik und Vergleich mit dorsalen Verfahren. *Der Orthopäde*, 2: 131-145.
- Hanke P. 1983. Skoliosebehandlung auf entwicklungs-kinesiologischer Grundlage in Anlehnung an die Vojta- Therapie. Vortrag am 02.02.1983 in Würzburg. Diskussionsreihe „Krankengymnastische Skoliosetherapie“ der Arbeitsgemeinschaft Atemtherapie im ZVK.
- Harms J. 2007. Geschichte der Skoliosetherapie.
- Herzenberg JE, Waanders NA, Closkey RF, Schultz AB, Hensinger RN. 1990. Cobb angle versus spinous process angle in adolescent scoliosis. The relationship of the anterior and posterior deformities. *Spine*, 15: 874- 879.
- Hefti F. 1998. *Kinderorthopädie in der Praxis*. Berlin: Springer- Verlag, 55- 94.
- Heine J. 1980. *Die Lumbalskoliose*. Enke, Stuttgart.

Heine J, Heine F. 1981. Über die Häufigkeit der Thorakalskoliose bei Jugendlichen. Z Orthop, 119: 340- 343.

Heine J, Reher H. 1975. Die Progredienz der unbehandelten idiopathischen Skoliose bis Wachstumsabschluß. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 113

Hibbs RA. 1921. An operation for progressive spinal deformities. A preliminary report of three cases from the service of the Orthopaedic Hospital. NY State J Med, 93: 1911.

Hopf C. 2000. Kriterien zur Behandlung idiopathischer Skoliosen zwischen 40° und 50°. Operative vs. Konservative Therapie. Der Orthopäde, 29: 500- 506.

James JIP. 1954. The prognosis, diagnosis and operative indications related to curve patterns and the age at onset. J Bone Joint Surg (Br), 36:36.

Jonathan R, Schiller MD, Nikhil A, Thaktur MD, Craig P, Eberson MD. 2009. Brace management in adolescent idiopathic scoliosis. Clin Orthop Relat Res, DOI 10.1007/s11999-009-0884-9.

Karbowski A, Hopf C, Heine J. 1995. Endergebnisse der konservativen Behandlung der Skoliose- ein Vergleich zwischen Milwaukee- und Chêneau - Korsett. Orthop Praxis: 13-17.

Karol LA, Johnston CE 2<sup>nd</sup>, Browne RH, Madison M. 1993. Progression of curve in boys who have idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg (Am), 75: 1804-1810.

Karol L. 2001. Effectiveness of bracing in male patients with idiopathic scoliosis. Spine, 26: 2001-2005.

Katz DE, Richards S, Browne RH, Herring JA. 1997. A comparison between the Boston brace and the Carleston Bending brace in adolescent idiopathic scoliosis. Spine, 22: 1302- 1312.

Katz DE, Herring JA, Browne RH, Kelly DM, Birch JG. 2010. Brace wear control of curve progression in adolescent idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg (Am), 92: 1343-1352.

Kenanidis E, Potoupnis ME, Papavasiliou KA, Sayegh FE, Kapetanos GA. 2008. Adolescent idiopathic scoliosis and exercising: is there truly a liaison? Spine, 33 (20): 2160-2165.

Kim HJ, Blanco JS, Widman RF. 2009. Update on the management of idiopathic scoliosis. Curr Opin Pediatr, 21: 55-64.

King HA. 1994. Analysis and treatment of type II idiopathic scoliosis. Orthop Clin North Am, 25: 225-237.

King HA, Moe JH, Bradford DS, Winter RB. 1983. The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg (Am), 65 (9): 1302-1313.

Klapp R. 1905. Funktionelle Behandlung der Skoliose. Fischer. Jena.

Klößner C, Walter G, Matussek J, Weber U. 2000. Ventrodorsale Korrektur und Instrumentation idiopathischer Skoliosen. Der Orthopäde, 6: 571-577.

Krismer M, Behensky H, Frischhut B, Wimmer C, Ogon M. 2002. Operative Therapie von idiopathischen Skoliosen und Kyphosen. Orthopäde, 31: 26-33.

Landauer F, Krismer M, Bauer R. 1997. Die konservative Behandlung der Skoliose. Der Orthopäde, 26: 808- 817.

- Landauer F, Behensky H. 2002. Korrekturmechanismus der Skoliose bei Korsett-Therapie. Orthopädie- Technik, 6: 500-505.
- Landauer F. 2005. Grenzen der Korsetttherapie. Orthopädie- Technik, 10: 694- 699.
- Landauer F. 2007. Stellenwert der Orthesen in der Skoliosebehandlung. Orthopädie- Technik, 3: 164- 169.
- Lehnert- Schroth C. 1974. Die dreidimensionale Skoliosebehandlung. Manuelle Medizin, Heft 3 und 6.
- Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, Blanke K. 2001. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. J Bone Joint Surg (Am), 83: 1169- 1181.
- Liljenqvist U. 2002. Ätiologie, Morphologie und Therapie der idiopathischen Skoliose. Orthopädie- Technik, 6: 506- 512.
- Liljenqvist U, Allkemper T, Hackenberg L, Link T, Steinbeck J, Halm H. 2002. Analysis of the vertebral morphology in idiopathic scoliosis with magnetic resonance imaging using multiplanar reconstruction. J Bone Joint Surg (Am), 84: 359- 368.
- Lindh M. 1980. The effect of sagittal curve changes on brace correction for idiopathic scoliosis. Spine, 5(1): 26- 36.
- Lonstein JE, Carlson JM. 1984. The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis during growth. J Bone Joint Surg (Am), 66: 1061- 1071.
- Lonstein JE, Bradford DS. 1994. Moe`s textbook of scoliosis and other spinal deformities, Saunders Philadelphia.
- Lonstein JE, Winter RB. 1994. Milwaukee Brace Treatment of Adolescent Idiopathic scoliosis: Review of 1020 patients. J Bone Joint Surg (Am), 76: 1207- 1221.
- Lowe TG, Edgar M, Margulies JY et al. 2000. Etiology of idiopathic scoliosis: current trends in research. J Bone Joint Surg (Am), 82 (8): 1157-1168.
- Machida M. 1999. Cause of idiopathic scoliosis. Spine, 15: 2576- 2583.
- Matsunaga S, Hayashi K, Naruo T, Nozoe S, Komiya S. 2005. Psychologic management of brace therapy for patients with idiopathic scoliosis. Spine, 30(5): 547- 550.
- Matussek J, Mellerowicz H, Klöckner C, Sauerlandt B, Nahr K, Neff G. 2000. Zwei- und dreidimensionale Korrektur von Skoliosen durch Korsettbehandlung. Optimierte konservative Therapie der idiopathischen Skoliose durch ein weiterentwickeltes Cheneau- Korsett. Der Orthopäde, 6: 490- 499.
- Matzen PF. 2002. Praktische Orthopädie. Dritte Aufl. Leipzig: Johann-Ambrosius-Barth-Verlag im Georg- Thieme-Verlag, Stuttgart, New York: 343.
- Mau H. 1982. Die Ätiopathologie der Skoliose. Stuttgart: Ferdinand- Enke- Verlag, 4-7.
- Meurer A, Hopf C, Heine J. 1994. Spontanverlauf der idiopathischen Skoliose. Orthopäde, 23: 228- 235.

Montgomery F, Willner S, Appelgren G. 1990. Long term follow up of patients with adolescent idiopathic scoliosis treated conservatively: an analysis of the clinical value of progression. *J Pediatr Orthop* 10: 48- 52.

Montgomery F, Willner S. 1997. The natural history of idiopathic scoliosis. Incidence of treatment in 15 cohorts of children born between 1963 and 1977. *Spine*, 22: 772- 774.

Moreau A, Akoumé Ndong MY, Azeddine B, Franco A, Rompré PH, Roy-Gagnon MH, Turgeon I, Wang D, Bagnall KM, Poitras B, Labelle H, Rivard CH, Grimard G, Ouellet J, Parent S, Moldovan F. 2009. Molekulare und genetische Aspekte der idiopathischen Skoliose. *Der Orthopäde*, 2: 114-121.

Nachemson A, Peterson L. 1995. Effectiveness of treatment with a brace in girls who have adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 77: 815- 822.

Nash C, Moe J. 1969. A study of vertebral rotation. *J Bone Joint Surg (Am)*, 51: 223.

Negrini S, Atanasio S, Zaina F, Romano M, Parzini S, Negrini A. 2008. End-growth results of bracing and exercises for adolescent idiopathic scoliosis. Prospective worst-case analysis. *Stud Health Technol Inform*, 135: 395-408.

Ni H, Zhu X, He S, Yang C, Wang C, Zhao Y, Wu D, Xu J, Li M. 2010. An increased kyphosis of the thorakolumbar junction is correlated to more axial vertebral rotation in thorakolumbar/lumbar adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 23.August 2010 (Epub ahead of print).

Niederhöffer L. 1942. Die Behandlung von Rückgratverkrümmungen nach dem System Niederhöffer. Osterwieck, Berlin.

Niethard FU. 1997. Kinderorthopädie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 165- 198.

Noonan KJ, Weinstein SL, Jacobson WC, Dolan LA. 1996. Use of the Milwaukee brace for progressive idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 78: 557-567.

O'Neill PJ, Karol LA, Shindle MK, Eleison EE, BrintzenhoferSzoec KM, Katz DE, Farmer KW, Sponseller PD. 2005. Decreased orthotic effectiveness in overweight patient with adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 87(5): 1069- 1074.

Perdriolle R, Becchetti S, Vidal J, Lopez P. 1993. Mechanical process and growth. Essential factors in the progression of scoliosis. *Spine*, 18: 343-349.

Peterson D, John H. 1984. Die Orthesen für den Rumpf. Zweite Aufl. Stuttgart, New York: Georg- Thieme- Verlag, 143- 168.

Peterson LE, Nachemson AL. 1995. Prediction of progression of the curve in girls who have adolescent idiopathic scoliosis of moderate severity. Logistic regression analysis based on data from The Brace Study of Scoliosis Research Society. *J Bone Joint Surg (Am)*, 77: 823- 827.

Ponseti IV, Friedman B. 1950. Prognosis in idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 32: 381.

Porter RW. 2000. Idiopathic scoliosis: the relation between the vertebral canal and the vertebral bodies. *Spine*, 25: 1360-1366.

- Price CT, Scott DS, Reed FE, Riddick MF. 1990. Nighttime bracing for adolescent idiopathic scoliosis with the Charleston bending brace. *Spine*, 15: 1294- 1299.
- Rexing F, Büsch HG. 1990. Die Pelottenanordnung und ihre derotierende Wirkung. *Z Orthop Technik*, 4 (90): 240.
- Risser JC, Ferguson AB. 1936. Scoliosis: It's prognosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 18:667.
- Risser JC. 1958. The iliac apophysis: An invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop*, 11: 111.
- Rogala EJ, Drummond DS, Gurr J. 1978. Scoliosis incidence and natural history. *J Bone Joint Surg (Am)*, 60: 173- 176.
- Rowe DE, Bernstein SM, Riddick MF, Adler F, Emans JB, Gardner-Bonneau D. 1997. A meta-analysis of the efficacy of non-operative treatments for idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 79: 664- 674.
- Sanders JO, Herring JA, Browne RH. 1995. Posterior arthrodesis and instrumentation in the immature (Risser grade 0) spine in idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 77: 39-45.
- Schmitz A, Kandyba J, Jäger U, König R, Schmitt O. 2002. Korsettwirkung in der Sagittalebene bei Skoliose- eine kernspintomographische Studie. *Z Orthop*, 140: 347-350.
- Scott JC, Morgan TH. 1963. The natural history and prognosis of infantile idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, 45: 587.
- Seiffert J, Selle A. 2009. Hat die Nachtorthese in der Skoliogetherapie noch eine Berechtigung? *Der Orthopäde*, 2: 146-150.
- Selle A, Seiffert J. 2008. Frühzeitiges Night-Time-Bracing – eine Alternative in der Skoliosebehandlung. *Orthop Technik*, 4: 236- 239.
- Shaugnessy WJ. 2007. Advances in scoliosis brace treatment for adolescent idiopathic scoliosis. *Orthop Clin North Am*, 38: 469-475.
- Shufflebarger HL, Clark CE. 1991. Prevention of the crankshaft phenomenon. *Spine*, 16 (Suppl): S409- S411.
- Somerville EW. 1952. Rotational lordosis: The development of the single curve. *J Bone Joint Surg (Br)*, 34: 421-427.
- Soucacos PN, Zacharis K, Gelalis J et al. 1998. Assessment of curve progression in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*, 7: 270-277.
- Stagnara P, Desbrosses J. 1960. Scoliosis essentielles pendant l'enfance et l'adolescence. *Rev Orthop*, 46: 562.
- Stagnara P, Mollon G. 1976. Das Lyoner Korsett zur Behandlung von Skoliosen. *Med Orthop Techn*, 96: 141.
- Stücker R. 2009. Ergebnisse der Behandlung von progredienten Skoliosen mit SMA-Klammern. *Der Orthopäde*, 2: 176-180.
- Stücker R. 2010. Die idiopathische Skoliose. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 5: 39-53.

Tan KJ, Moe MM, Vaithinathan R, Wong HK. 2009. Curve progression in idiopathic scoliosis: follow-up study to skeletal maturity. *Spine*, 43 (7): 697-700.

Tanner TM, Whitehouse RH, Takaishi M. 1966. Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity and weight velocity. *British Children I and II. Arch Dis Child*, 41: 454-471.

Terminology Committee of the Scoliosis Research Society. 1976. A glossary of terms, *Spine*, 1: 57- 58.

Tomaschewski R, Popp B. 1992. Die funktionelle Behandlung der beginnenden idiopathischen Skoliose. Johann Ambrosius Verlag.

Upadhyay SS, Nelson IW, Ho EK, Hsu LC, Leong JC. 1995. New prognostic factors to predict the final outcome of brace treatment in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 20: 537- 545.

Valentin B. 1961. Geschichte der Orthopädie. Stuttgart: Thieme- Verlag.

Van Rhijn LW, Plasmans CM, Veraart BE. 2002. Changes in curve pattern after brace treatment for idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand*, 73(3): 277-281.

Venel JA. 1788. Description de plusieurs nouveaux moyens mécaniques. Mourer, Lausanne.

Veldhuizen AG, Wever DJ, Webb PJ. 2000. The aetiology of idiopathic scoliosis: biomechanical and neuromuscular factors. *Eur Spine J*, 9: 178-184.

Veraart B, Jansen B. 1990. Changes in lung funktion associated with idiopathic thoracic scoliosis. *Acta Orthop Scand*, 61: 1-7.

Von Deimling U, Wagner UA, Schmitt O. 1995. Der langfristige Einfluss der Korsettbehandlung auf die spinale Dekompensation der idiopathischen Skoliose. *Z. Orthop*, 133: 270-273.

Von Strempel A, Schloz M, Diedrich O. 1995. Langzeitverläufe bei Patienten mit idiopathischer Skoliose. *Z. Orthop*, 133: 256-269.

Watts HG, Hall JE, Stanish W. 1977. The Boston brace system for the treatment of low thoracic and lumbar scoliosis by the use of a girdle without superstructure. *Clin Orthop*, 126: 87- 92.

Weinstein SL. 1989. Die idiopathische Adoleszentenskoliose: Häufigkeit und Progression unbehandelter Skoliosen. *Orthopäde*, 18: 74- 86.

Weinstein SL, Ponseti IV. 1983. Curve progression in idiopathic scoliosis: Long-term follow up and prognosis in untreated patients. *J Bone Joint Surg (Am)*, 65: 447- 453.

Weinstein S. 1999. Natural history. *Spine*, 15: 2592- 2600.

Weinstein S, Dolan L, Spratt K, Peterson K, Spoonamore M, Ponseti I. 2003. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis: a 50-year natural history study. *JAMA*, 289: 559-567.

Weiss HR. 1995. Die skoliosespezifische Rückenschule nach Schroth- erste Ergebnisse einer prospektiven Verlaufskontrolle. *Z Orthop*, 133: 114-117.

Weiss HR, Rigo R. 2001. Befundgerechte Physiotherapie bei Skoliose. Pflaum, München.

Weiss HR, Weiss G, Schaar HJ. 2002. Conservative management in patients with scoliosis- does it reduce the incidence of surgery? *Stud Health Technol Inform*, 91: 342- 347.

Weiss HR, Weiss G, Petermann F. 2003. Incidence of curvature progression in idiopathic scoliosis patients treated with scoliosis inpatient rehabilitation: an age- and sex- matched controlled study. *Pediatr Rehabil*, 6: 23-30.

Weiss HR, Rigo M. 2008. The chèneau concept of bracing – actual standards. *Stud Health Technol Inform*, 135: 291-302.

Wild O. 1975. Die Häufigkeit lumbosacraler Übergangsstörungen bei der idiopathischen Skoliose (Dissertation). München: Ludwig-Maximilian-Universität.

Willner S, Johnson B. 1983. Thoracic kyphosis and lumbar lordosis during the growth period in children. *Acta Paediatr Scand*, 72: 873- 878.

Witt AN, Rettig H, Schlegel KF. 1990. Orthopädie in Praxis und Klinik V/1: Spezielle Orthopädie: Wirbelsäule-Thorax-Becken. Stuttgart: Thieme- Verlag, 1- 205.

Wong MS. 2010. Computer-aided design and computer-aided manufacture (CAD/CAM) system for construction of spinal orthosis for patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Physiother Theory Pract*, 8.August 2010 (Epub ahead of print).

Wu H, Ronsky JL, Cheriet F, Harder J, Küpper JC, Zernicke RF. 2010. Time series spinal radiographs as prognostic factors for scoliosis and progression of spinal deformities. *Eur Spine J*, 27.07.2010 (Epub ahead of print).

Yrjonen T, Ylikoski M, Schlenzka D, Poussa M. 2007. Results of brace treatment of adolescent idiopathic scoliosis in boys compared with girls: a retrospective study of 102 patients treated with the Boston brace. *Eur Spine J*, 16: 393-397.

Zoabli G, Mathieu PA, Aubin CE. 2007. Back muscles biometry in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 7 (3): 338- 344.

---

**8. Anhang**

**DANKSAGUNG**

An erster Stelle möchte ich Herrn Dr. med. André Sachse und Herrn Prof. Dr. med. Rudolf-Albrecht Venbrocks für die freundliche Überlassung des Themas und die wissenschaftliche Betreuung danken.

Für die umfassende Unterstützung bei der Konzipierung, Durchführung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse sowie der fachlichen Hilfe gilt mein besonderer Dank Herrn Dr. med. A. Sachse. Er war zu jederzeit ein guter Ansprechpartner und stand mir oft mit aufmunternden Worten zur Seite. Ebenfalls hat er mich nicht nur während meiner Doktorandenzeit für die Kinderorthopädie begeistert. Besonders für sein Engagement bei der Korrektur meiner Arbeit möchte ich mich bedanken.

Außerdem möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Archivs, der Röntgenabteilung sowie dem Fotografen Herrn Hauk und dem Schwesternteam der kinderorthopädischen Abteilung des Waldkrankenhauses Rudolf-Elle in Eisenberg bedanken, die in vielfältiger Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Weiterhin danke ich Frau Nadine Fischer für die hilfreiche Unterstützung bei der Datenauswertung mit dem Statistikprogramm SPSS.

Mein größter Dank gilt meinem Ehemann Andreas Säuberlich für die fortwährende Motivation, Unterstützung und aufgebrachte Geduld während der Erstellung der Arbeit sowie insbesondere meiner Familie, die mir in dieser Zeit immer motivierend zur Seite stand, auf deren Hilfe ich in jeder Situation zählen konnte und die mich nicht nur bei dieser Arbeit, sondern während meines gesamten Lebens konstruktiv unterstützt haben.



## **LEBENS LAUF**

**Stefanie Säuberlich**, geb. Apel

geboren am 26.11.1981 in Ilmenau

### **Ausbildung**

10/1992 - 07/2000	Dr. Max Näder Gymnasium Königsee
07/2000	Abitur
08/2000 – 10/2000	Krankenpflegepraktikum Innere Medizin Krankenhaus Ilmenau
10/2000 – 11/2006	Studium der Humanmedizin, Friedrich-Schiller Universität Jena
10/2005 – 09/2006	Praktisches Jahr
10/2006	Ärztliche Approbation, FSU Jena

### **Berufliche Tätigkeit**

seit 11/2006	Assistenzärztin in Weiterbildung zum Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, Thüringen- Klinik Saalfeld
--------------	--

Jena am 01. November 2010

## **EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich- Schiller- Universität Jena bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes unterstützt haben: Dr. med. André Sachse, Prof. Dr. med. R-A. Venbrocks und Nadine Fischer,

die Hilfe des Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für die Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, den 01.11.2010

Stefanie Säuberlich  
-Verfasserin-